

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS

DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y DESARROLLO SUSTENTABLE
CON MENCIÓN EN ORDENAMIENTO TERRITORIAL

**“ESTUDIO DE LA PÉRDIDA DEL RECURSO SUELO MEDIANTE EL
CÁLCULO DE TASAS DE EROSIÓN Y PROPUESTA DE
ESTRATEGIAS DE MANEJO DE SUELOS, DETERMINADAS POR
LAS CARACTERÍSTICAS SOCIO-AMBIENTALES DE LOS ANDES
ECUATORIANOS“**

Wendy Verônica Santos Saavedra
David Alejandro Castro Romero

DIRECTORA: Dra. Svetlana Zavgorodniaya

Quito, 2012

AGRADECIMIENTOS

Gracias a nuestras familias, los seres que nos han brindado su apoyo incondicional en cualquier momento y con los cuales compartiremos este logro que nos llena de felicidad.

Gracias a nuestros padres por la confianza depositada en nosotros, quienes con amor, paciencia y dedicación nos han educado para ser personas de bien.

A nuestra profesora Dra. Svetlana Zavgorodniaya por ser una guía y un modelo a seguir en el ámbito profesional y personal, gracias por la amistad brindada que esperamos perdure por siempre.

A mis padres Guillermo y Wilma que con sabiduría y cariño me han sabido guiar por el camino del éxito. A mis hermanos, los mejores amigos que pude encontrar; Francisco ejemplo de inteligencia, y lealtad quien los mejores consejos me ha sabido dar; Andrés, un hombre inteligente lleno de bondad, alegría y humildad quien siempre me ha sabido apoyar. A mi esposo David, mi amigo, mi compañero, mi esposo y próximamente mi colega por estar siempre a mi lado y ser incondicional en todos los momentos de mi vida. A mi tía Aurelia un ejemplo de lucha, paciencia y fortaleza y quien desde el cielo es la guía de nuestro camino.

Wendy

Gracias a Martha y Winston, mis padres por ser personas ejemplares quienes me han enseñado el valor de la honestidad, la responsabilidad y la solidaridad. A Mónica una persona con gran corazón fraterno, quien me ha demostrado que la responsabilidad no tiene límites y que la lealtad no tiene barreras. A Wendy, mi esposa, mi compañera gracias por su paciencia y su comprensión, gracias por los seres que han llenado de alegría a mi vida.

David

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a nuestros hijos Victoria y Dante quienes bajaron del cielo para unirnos y llenarnos de alegría . Para los dos seres que son el motor de nuestras vidas, a quienes queremos demostrar la importancia de ser personas de bien.

*A Victoria, la niña de nuestros ojos quien nos enseñó el valor de una caricia, el significado de un “te quiero” y la importancia de un abrazo.
A Dante, nuestro niño quien con una mirada y una sonrisa nos demuestra que la felicidad está al alcance de nuestras manos y que la vida es alegría.*

A ustedes nuestros hermosos hijos, a quienes más que este trabajo les dedicamos nuestra VIDA ENTERA.

David y Wendy

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCION	8
 CAPITULO 1: GENERALIDADES	
1.1 Justificación	11
1.2 Planteamiento del problema.....	12
1.3 Área de Estudio.....	14
1.4 Objetivos	14
1.5 Metodología general	15
 CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL Y TECNOLÓGICO DE EROSIÓN DE SUELOS	
2.1 Antecedentes	18
2.2 Marco Teórico-Conceptual	
2.2.1 Edafología	24
2.2.2 Suelo	24
2.2.3 Erosión de los suelos.....	25
2.2.4 Tipos de Erosión hídrica	27
2.2.5 Estimación de erosión de suelos	30
2.2.6 Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE)	33
2.2.7 Método de STEHLIK	36
2.2.8 Concepto de estrategia	41
2.3 Marco Tecnológico	
2.3.1 Sistemas de Información Geográfica	41
2.3.2 Procesos generales de los SIG	41
2.3.2 Datos Geográficos.....	42
 CAPITULO 3: CÁLCULO DE TASAS DE EROSIÓN EN LOS ANDES ECUATORIANOS	
3.1 Generación del mapa de tasas de erosión	46
3.2 Tasas de erosión en los Andes ecuatorianos	56

CAPITULO 4: CARACTERIZACIÓN SOCIO-AMBIENTAL DE LA EROSIÓN EN LOS ANDES ECUATORIANOS

4.1 Caracterización Ambiental.....	65
4.1.1 Tierras agrícolas en los Andes ecuatorianos	65
4.1.2 Profundidad de suelos y erosión	71
4.1.3 Variabilidad de la precipitaciones en los Andes ecuatorianos.....	75
4.1.4 Erosión y producción	77
4.1.5 Pérdida de productividad de tierras agrícolas	91
4.2 Caracterización social de los Andes ecuatorianos	95
4.2.1 La población y tasas de crecimiento poblacional	95
4.2.2 La relación entre tasas de crecimiento poblacional y pérdida de tierras agrícolas	102

CAPITULO 5: PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE SUELOS EN LOS ANDES ECUADOR

5.1 Control de erosión en los suelos desde la perspectiva socio-ambiental	113
5.2 Institucionalización del recurso suelo	117
5.3 Estudios e investigación del suelo	122
CONCLUSIONES	124
BIBLIOGRAFIA	130
ANEXOS	136

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Porcentaje de superficie según tasas de erosión	60
Gráfico 2. Porcentaje de superficie agrícola según el tipo de cultivo	66
Gráfico 3. Superficie de suelos según clase de profundidad	72
Gráfico 4. Superficie de suelos según rangos de sensibilidad productiva por pérdida de suelos	89
Gráfico 5. Cantones según porcentaje de superficie de tierras agrícolas perdidas	92
Gráfico 6. Tasas de crecimiento poblacional 2001-2010	87
Gráfico 6. Superficie de suelos según rangos de sensibilidad productiva por pérdida de suelos	99
Gráfico 7. Relación de las tasas de crecimiento poblacional y la pérdida de tierras agrícolas en 10 años.....	104

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de metodología.....	17
Figura 2. Mapa de principales zonas erosionadas en el Ecuador según su grado de intensidad.....	23
Figura 3. Factores que afectan la erosión causada por el agua.....	26
Figura 4. Diagrama de erosión pluvial	27
Figura 5. Clasificación de métodos de estimación hídrica	31
Figura 6. Diagrama de sistemas que ilustra un SIG	42
Figura 7. Zonas de aptitud agrícola y áreas de conflicto por actividades productivas (2000)	67
Figura 8. Disminución de la profundidad del suelo a lo largo del tiempo como resultado de la erosión.....	78
Figura 9. Evolución de la producción de los cultivos	79
Figura 10: Etapas de degradación del suelo bajo la explotación agrícola inadecuada	80
Figura 11. Escenario de la pérdida de tierras agrícolas en tres cantones de los Andes Ecuatorianos	94
Figura 12. Relación entre población y medio ambiente planteado por Malthus	101
Figura 13. Relación de la calidad ambiental y la productividad de los suelos	111

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1. Precipitación media anual (Factor D)	53
Mapa 2. Factor Petrológico (Factor G)	54
Mapa 3. Susceptibilidad del suelo a la erosión (Factor P)	55
Mapa 4. Pendiente (Factor S)	56
Mapa 5. Longitud de Pendiente (Factor L)	57
Mapa 6. Efecto protector de la cobertura vegetal (Factor O)	58
Mapa 7. Tasas de erosión en los Andes Ecuatorianos.....	64
Mapa 8. Uso de suelo agrícola según cultivos en los Andes Ecuatorianos.....	70
Mapa 9. Profundidad de suelos	74
Mapa 10. Sensibilidad productiva de suelos en función de erosión.....	83
Mapa 11. Tasas de crecimiento poblacional 2001-2010 a nivel cantonal.....	98

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Foto 1. Arado con yunta siguiendo las curvas de nivel.....	19
Foto 2. Cultivos en terrazas	20
Foto 3. Suelos con presencia de surcos	28
Foto 4. Cárcavas	29
Foto 5. Erosión y desgaste de suelos en cercanías a la población Mira	62
Foto 6. Erosión y desgaste de suelos en cercanías a la población Nabón.	63
Foto 7. Suelo con diferentes etapas de degradación.....	80
Foto 8. Cultivos en la pendiente	86
Foto 9. Suelos blanquecinos, evidencia del proceso erosivo latente	86
Foto 10. Parches con pérdida total del suelo	86
Foto 12. Suelos degradados por completo en el cantón Nabón.....	88
Foto 13. Práctica de terraceo en cultivos de arroz	89
Foto 14. Indígena en labores agrícolas	95

INTRODUCCIÓN

Los Andes ecuatorianos corresponden a una región natural con condiciones biofísicas particulares y específicas que permiten tener una gran variedad y riqueza de recursos naturales, en particular la presencia de suelos aptos para el desarrollo de actividades agrícolas. Sin embargo, los suelos se han visto afectados por procesos morfodinámicos, tal es el caso de la erosión que se presenta tanto por procesos naturales o de origen humano. A lo largo de la historia los suelos de la Sierra ecuatoriana han sido aprovechados para el desarrollo de la agricultura por las condiciones favorables de estos, pero poco a poco la erosión se ha encargado desaparecer estos suelos.

Los estudios sobre la problemática de la erosión a nivel nacional o regional han sido mínimos, más bien estos se los realizan en área localizadas lo cual no permite comprender la repercusión de este problema. Por otro lado, la aplicación de métodos de estimación de pérdida de suelos en conjunto con las nuevas tecnologías como los sistemas de información geográfica (SIG) se convierte en metodologías que permiten realizar estudios a distinta escala. A partir de estos, en la primera parte del presente trabajo se realiza el planteamiento del problema del proceso erosivo en los suelos de los Andes ecuatorianos, el objeto del estudio y el proceso metodológico a realizarse.

Seguidamente, el capítulo segundo trata la erosión desde el punto de vista conceptual y teórico, pero inicialmente se realiza una reseña histórica de la evolución del proceso de erosión en la Sierra ecuatoriana y de ciertos estudios realizado en esta área. En el marco conceptual, se definen los principales elementos que enmarcan la investigación permitiendo una mejor comprensión de los términos relacionados con el desgaste del suelo. A continuación, en el siguiente apartado es indispensable conocer las teorías en las que se fundamenta el estudio, particularmente sobre la edafología como ciencia que estudia los suelos, el suelo, la erosión de suelos, la estimación de erosión de suelos y los diferentes métodos existentes como la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y sus derivadas. Partiendo de estas teorías se da a conocer el Método de Stehlik que permite estimar la erosión laminar y originada por microsurcos, la cual será aplicada en el área de estudio. Por último en este capítulo se menciona los Sistemas de Información

Geográfica perteneciente al marco tecnológico, que corresponden a la herramienta para realizar el geo procesamiento de la información cartográfica.

La tercera parte del documento trata sobre el cálculo de tasas de erosión en los Andes ecuatorianos con la aplicación del método de Stehlik en un ambiente de sistemas de información geográfica. El mapa generado representa los diferentes valores de tasas de erosión clasificado en distintos rangos de mayor a menor en función de los milímetros anuales de suelos perdidos, el producto obtenido resulta indispensable para entender espacialmente los patrones de comportamiento de los procesos erosivos.

Más allá de la problemática que implica la erosión en los suelos, las causas y su localización analizada anteriormente, el cuarto capítulo del estudio se realiza una caracterización socio-ambiental de la erosión en la Sierra ecuatoriana. Partiendo de esto, se analiza la incidencia de la erosión en particular en tierras cultivadas, el insumo principal para las actividades agrícolas que se ven gravemente afectadas por el desgaste o pérdida de su capa productiva.

En el análisis de tasas de erosión y profundidad específicamente de suelos con usos agrícolas, se determina la sensibilidad productiva de los suelos por erosión, en otras palabras el tiempo en el que la capa productiva de los suelos se va perdiendo hasta degradarse por completo. Además, se incluye la variable precipitación para comprender como su variabilidad influye en los procesos de erosión como parte del análisis realizado en el proyecto de investigación de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador “Causas, efectos y riesgos morfodinámicos asociados al Cambio Climático en Ecuador” realizado por la Dra. Svetlana Zavgorodniaya con la participación de David Castro y Wendy Santos. Más adelante se estudia la incidencia de la población en el problema de la erosión mediante el análisis de la relación entre las tasas de crecimiento poblacional de los años 2001 al 2010 y la pérdida de tierras agrícolas en los últimos 10 años, este último determinado según la sensibilidad productiva de los suelos con usos agrícolas donde se explica gráficamente tres ejemplos de pérdida de tierras agrícolas en los cantones de Pimampiro, Nabón y Celica. Para finalizar el capítulo se resalta la importancia de las superficies restantes de tierras agrícolas dando énfasis en su uso correcto y un adecuado manejo.

A continuación, en el quinto capítulo con los resultados obtenidos conllevan a proponer estrategias generales para el manejo de suelos en los Andes ecuatorianos. Las estrategias propuestas enmarcan la problemática de la erosión de una manera sistemática, es decir vista desde la perspectiva social, ambiental y legal, enmarcados en precautelar la seguridad alimentaria, el control de la erosión e institucionalización del recurso suelo.

Finalmente, se realizó las conclusiones de acuerdo a lo establecido en los objetivos de la investigación dando a conocer los resultados obtenidos en estudio del proceso erosivo en los Andes Ecuatorianos.

CAPITULO 1 GENERALIDADES

1.1 JUSTIFICACIÓN

Los Andes Ecuatorianos son producto de complejos procesos naturales que se han dado a lo largo de la historia del planeta. Dichos procesos determinan sus características geológicas, geomorfológicas, edáficas, climáticas, cobertura de vegetación y uso actual del suelo. Además, la presencia del ser humano en un ambiente como el de la montaña alta ha traído graves consecuencias sobre su potencial productivo, por la aceleración del proceso de degradación del suelo.

El documento “Manejo de los Recursos en los Andes Ecuatorianos” establece que: *La posición equinoccial, la presencia de montañas jóvenes con pendientes fuertes y suelos históricamente erosionados y un clima con vientos fuertes y lluvias torrenciales, crean un ambiente donde el hombre puede cultivar en las alturas y sus actividades pueden causar erosión* (Winters, Espinosa y Crissman, 1998, pág. 13).

En este contexto, el recurso suelo, cuya función principal es el sostén o soporte de la producción alimenticia para los seres vivientes, es el más afectado, en particular por las malas prácticas de manejo y uso extensivo e intensivo de actividades agrícolas y ganaderas, más la influencia de otros aspectos de la naturaleza como lluvias intensivas, y pendientes. Además, la población ejerce cada vez mayor presión sobre los recursos naturales para satisfacer las necesidades humanas y contribuyen a la degradación y erosión de los suelos andinos.

El estudio de la erosión de los suelos demanda un amplio campo de conocimientos, y para poder interpretar sus consecuencias se requiere un análisis en conjunto de varios elementos. Para los estudios de erosión de suelos pueden aplicarse diferentes métodos; sin embargo, los más frecuentemente utilizados y con el mayor número de referencias es el método empírico, basado en la estimación de tasas de erosión o el cálculo de pérdida del suelo a partir de fórmulas sustentados con las observaciones- mediciones estacionarias y de trabajos de campo. Actualmente este método se complementa con las bondades del Sistemas de Información Geográfica, que facilita el proceso de integración e interacción de datos espaciales, aplicando modelos que se aproximan la realidad de un territorio.

De esta manera y tomando en cuenta cada uno de los elementos como la intensidad de lluvias, el relieve, las características particulares del suelo, las coberturas de la vegetación natural, el uso actual del suelo e incluyendo los parámetros del manejo y conservación, surge la necesidad de estudiar la problemática de la erosión de los Andes Ecuatorianos partiendo de escenarios actuales, y estableciendo áreas particulares con mayores sensibilidades por la degradación, sea por las tendencias en el uso del mismo, o por el crecimiento poblacional, o por la variabilidad climática. Siendo así, se puede determinar su sostenibilidad en el tiempo y, a la par, proponer estrategias generales de medidas de manejo del suelo, desde la perspectiva de la seguridad alimentaria.

1. 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios sobre erosión que se han realizado en el Ecuador han utilizado diferentes métodos, entre los cuales se encuentran: métodos de reconocimiento, estudios en parcelas de campo, simuladores de lluvias y estimaciones a partir de modelos (Hudson, 1997). Cada uno de estos métodos ha sido aplicado y se han obtenido resultados diferentes: ya sea por heterogeneidad del espacio físico, variabilidad natural, ubicación geográfica. Estos resultados aislados conllevan a que la interpretación de los resultados, respecto a erosión, busquen la misma conclusión y culpen siempre al ser humano, por el inadecuado manejo del recurso (Winters, Espinosa y Crissman, 1998).

Uno de los estudios fundamentales, realizado en el año 1983, corresponde al elaborado por Georges de Noni, Marc Viennot y Germán Trujillo, donde se obtuvo el mapa de “Procesos de erosión del Ecuador” diferenciando las áreas afectadas por procesos erosivos dominantes; entre los cuales se encuentran: eólicos, escurrimiento concentrado, escurrimiento difuso y concentrado, escurrimiento muy concentrado, movimientos en masa y empobrecimiento físico-químico de los suelos. El mapa identifica la erosión como activa y potencialmente activa, en una superficie mayor al 12% del país, ubicando a dichos procesos, geográficamente hablando, con una carga mayor en la Sierra Ecuatoriana (Winters, Espinosa y Crissman, 1998)

Dicha síntesis cartográfica determina que el 30% de los procesos de erosión ocurren en los Andes, específicamente en *“las cuencas interandinas que constituyen la zona más afectada, en donde se concentra una tercera parte de las tierras erosionadas andinas, entre 1.500 m y 3.000 m, y sólo quedan muy pocos suelos arables”* (Winckell, 1992, pág. 154).

Se determina, así mismo, que las tierras ubicadas a más de 3200 m.s.n.m y las vertientes externas de las cordilleras corresponden a zonas en vías de degradación. (Winckell, 1992).

En el año 1987, se realizaron varias consultorías e informes técnicos de la Ing. Svetlana Zavgorodniaya para el Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL), relacionadas con el tema erosión/sedimentación en la Cuenca del Río Paute, a fin de precisar la vida útil del embalse de la presa Amaluza y proponer medidas necesarias para prolongar el periodo del funcionamiento del proyecto hidroeléctrico. Se utilizó la metodología de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, (USLE) modificado, cartografía temática apoyada con valores medidos y calculados, que permitieron la clasificación y ordenación de los espacios según sus características actuales a la fecha del estudio y pronosticar los cambios según las metas previstas (prospectiva).

La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, a través de la Subsecretaría de Direccionamiento Estratégico del Ministerio de Agricultura (MAG), crea el Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria (SIGAGRO). En este marco la institución elabora el mapa de “Erosión actual del Ecuador”, en base a interpretación de imágenes satelitales LANDSAT TM del 1999-2002 en combinación de bandas 4.5.3 y según la respuesta espectral de cada uno de los elementos de suelo. A partir de la respuesta espectral clasifican tres niveles de erosión; zonas totalmente erosionadas, zonas con fuertes procesos erosivos y áreas con inicios de erosión. Finalmente, mediante Sistemas de Información Geográfica - SIG se elabora el mapa nacional de erosión, el cual se desprende del mapa de uso de la tierra y cobertura vegetal (Torres, 2011).

Actualmente surge la necesidad de comprender el escenario que se presenta en los Andes ecuatorianos desde la perspectiva de la variabilidad climática y la tendencia del crecimiento poblacional, y por consiguiente surge la inquietud de precisar los procesos de erosión en esta región, utilizando herramientas cartográficas a escala 1:250.000. Finalmente, con esto se realizarán las propuestas estratégicas de manejo del suelo, desde la perspectiva socio-ambiental.

1.3 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a los Andes ecuatorianos o la región natural Sierra basado en la delimitación del Mapa de Paisajes Naturales del Ecuador a escala 1:1'000.000 de CEDIG, ORSTOM, IPGH, IGM del año 1989. Cuenta con una superficie de 118732 km². Está ubicada de Norte a Sur desde la frontera con Colombia hasta la frontera peruana y Este-Oeste entre la región Costa y Amazonia. Corresponde una región montañosa constituida por; cordilleras y ramales del sistema andino, vertientes abruptas y valles interandinos.

Su principal característica biofísica son los dos ejes montañosos longitudinales conocidos como Cordillera de los Andes y las cuencas interandinas, cuyo ancho, contando las vertientes externas, varía generalmente entre 100 y 150 km de Este a Oeste, siendo la parte central la más estrecha (Winckell, 1992). Los pisos altitudinales varían desde: glaciares, páramo, hasta cuencas interandinas (Zavgorodniaya y Tapia, 2000).

De Norte a Sur comprende tres unidades (Zavgorodniaya y Tapia, 2000):

- Desde la frontera con Colombia hasta 2°30'S presenta dos cordilleras individualizadas: la Cordillera Oriental y Cordillera Occidental (NNE-SSO). Esta unidad se caracteriza por la actividad volcánica actual o histórica y en estado latente.

- De 2°30' a 3°40' se caracteriza por vastos relieves tabulares con alturas de 3000-4300 m.s.n.m. interrumpidos por sistemas interandinos (Girón-Santa Isabel, Nabón, Cuenca-Cañar).

- Hacia el Sur a partir de 3°40' se forma un abanico de cordilleras con relieves no mayores a los 3500 m.s.n.m. con una orientación SSO-NNE paralela al trazado de la línea costera (Winkell, 1992). (Ver Anexo 1. Mapa base del Área de Estudio)

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Cuantificar el proceso de desgaste de suelo mediante el cálculo de tasas de erosión para determinar estrategias del manejo de suelos en función de la variabilidad de la precipitación y el crecimiento poblacional en los Andes Ecuatorianos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Determinar el desgaste de suelo a través del cálculo de tasas de erosión con aplicación del método de Stehlik para generar el mapa de tasas de erosión a escala 1:250.000.
- Establecer áreas con diferentes rangos de erosión y analizar la incidencia del crecimiento poblacional y la variabilidad de las precipitaciones sobre la erosión del suelo.
- Desarrollar estrategias de manejo de suelos desde el punto de vista socio-ambiental.

1.5 METODOLOGÍA GENERAL

El proceso metodológico del estudio establece las fases de los métodos específicos para cumplir con los objetivos planteados.

FASE 1: Generación del mapa de tasa de erosión

Inicialmente, se realizó la compilación de información digital cartográfica referente a: Distribución de las precipitaciones medias anuales, subsuelo (permeabilidad y estado de meteorización de la roca madre), suelos (textura y cantidad de materia orgánica), pendiente, longitud de la pendiente (metros), y cobertura vegetal y uso de suelo.

A continuación se realizó un proceso de revisión de la información cartográfica digital para la selección de información apropiada para el estudio. Seguido de esto, se generó coberturas con valores según el Método de Stehlik, es decir se realizará una reclasificación de los datos utilizando el software ArcGIS 9.3 y ArcGIS 10. Toda información de tipo vector será sujeta a procesos de rasterización para aplicar los procesos de álgebra de mapas y manejar uso solo tipo de información cartográfica.

El trabajo de campo que se realizó sirve para la verificación o rectificación de la información obtenida en el trabajo de gabinete. En esta fase se utilizarán técnicas de observación directa apoyándose con fotografías, toma de puntos representativos o puntos de control con GPS y entrevistas a actores claves sobre la percepción de los cambios del suelo por la erosión.

FASE 2: Análisis de la incidencia del crecimiento poblacional y la variabilidad de las precipitaciones sobre la erosión del suelo

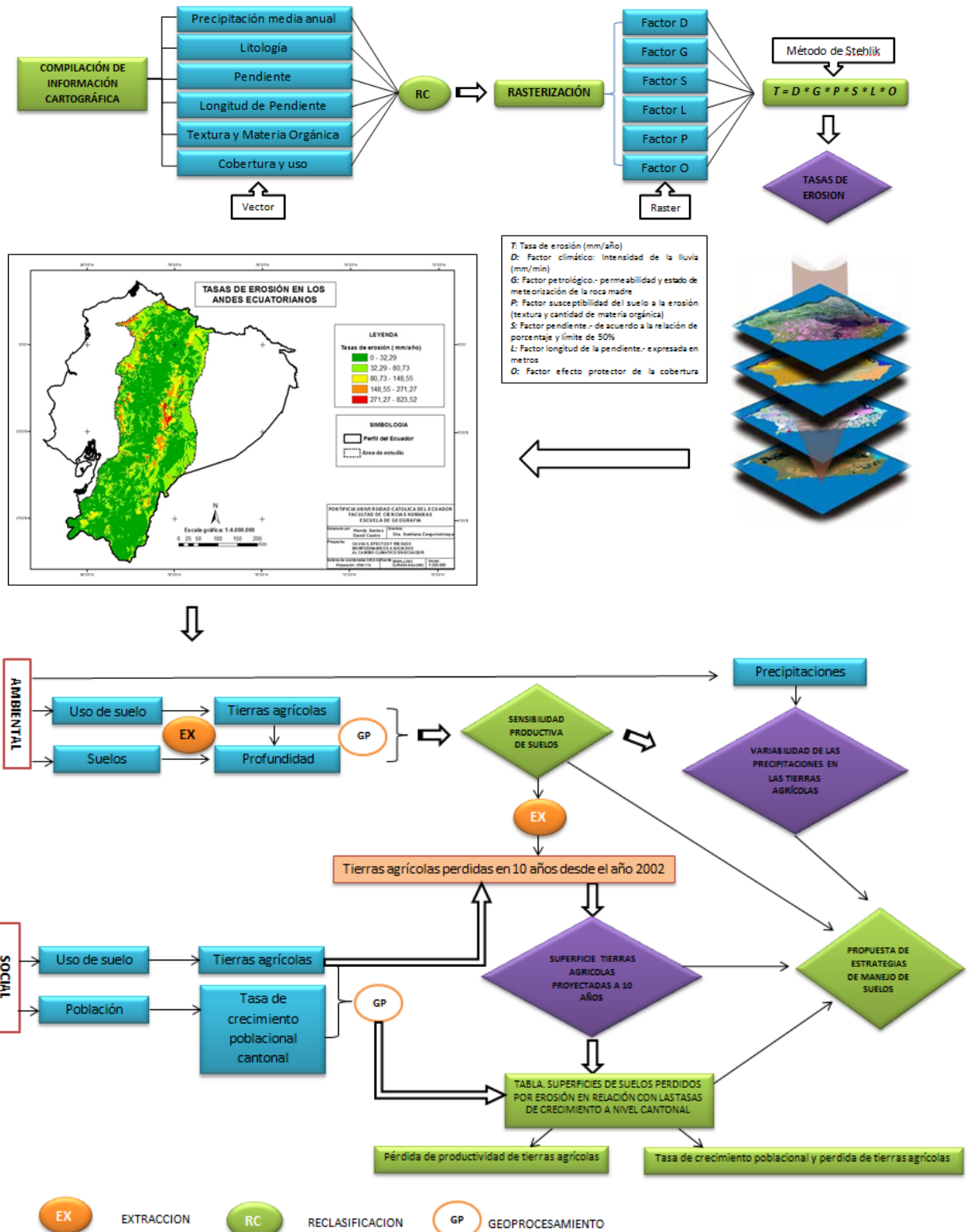
Esta fase esencialmente corresponde al análisis comparativo de las áreas con diferentes valores de tasas de erosión (mm/año) y el crecimiento poblacional, así como la variabilidad de precipitaciones con el apoyo de información cartográfica pertinente, utilizando herramientas del software de ArcGIS 9.3 se realizó el geo procesamiento correspondiente para la generación de los diferentes mapas obtenidos.

FASE 3: Determinar estrategias para manejo de suelos

La determinación de estrategias generales de manejos de suelos se trabajó en función de los resultados obtenidos en las fases anteriores, integrado el análisis de variables ambientales-sociales y la situación actual del recurso suelo en el área de estudio.

A continuación en la siguiente página se presenta el esquema metodológico aplicado en el estudio:

Figura 1. Esquema de metodología general



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL Y TECNOLÓGICO DE EROSIÓN DE SUELOS

El presente capítulo hace referencia a los conceptos y teorías básicas utilizadas en la investigación, que permiten tener argumentos con un sustento teórico científico, es decir que describe el fenómeno del proceso de erosivo.

La amplitud del tema *erosión* conlleva a manejar varios conceptos y teorías relacionados, es por esta razón que se ve en la necesidad de limitar netamente a lo que va a tratarse a lo largo de la investigación.

2. 1 ANTECEDENTES

La evolución del proceso de erosión en los Andes Ecuatorianos

La erosión ha existido siempre como resultados de procesos naturales que se dan en la superficie terrestre. En los Andes Ecuatorianos se marca una diferencia, el hombre mediante el cambio de cobertura de la tierra con cultivos acelera las intensidades del proceso de erosión, en función del carácter conservacionista o erosivo del cultivo (De Noni, 1986). La introducción de la agricultura en los Andes Ecuatorianos desencadenó ciertas situaciones a nivel regional; por un lado las características de las civilizaciones en cuanto a su condición de establecimiento, por otro lado el desarrollo de otro tipo de actividades. Dicha estructuración de la agricultura en la época pre colonial fue adaptada de la mejor manera a las características ambientales de la zona andina, donde se basa en estrategias espaciales para dominar el entorno conocido como micro verticalidad que “*consiste en el control altitudinal de varios pisos ecológicos para aprovechar la diversidad de microclimas en distancias muy cortas de la Sierra*” (De Noni, 1986, pág 17). En la Sierra el problema de mayor incidencia se trataba del control de las fuertes pendientes, para lo cual se realizó la construcción de terrazas de cultivos según las curvas de nivel donde se daba una preparación del terreno, estas técnicas permitieron al campesino evitar la aceleración de la erosión y mantener la humedad de los suelos. Además, se suma el cuidado de los suelos en cuanto a fertilidad quienes emplearon abonos y la práctica de rotaciones de los cultivos.

Según De Noni (1986) han transcurridos 70 años estas técnicas favorecieron a la conservación de una buena estructura superficial de los suelos, la conquista Inca finalizó este periodo los mismo que no produjeron mayores cambios en la agricultura, por el contrario favorecieron la expansión de los cultivos en la montaña e incluyeron la ganadería de las llamas.

A pesar que ha transcurrido varios años existen poblaciones que han mantenido estas prácticas agrícolas, como podemos ver en la fotografía 1 y 2 a continuación;



Foto 1. Arado con yunta siguiendo las curvas de nivel

Lugar: Vía Mariano Acosta, provincia Imbabura

Tomada por: Autores. Agosto 2011



Foto 2. Cultivos en terrazas

Lugar: Vía Mariano Acosta, provincia Imbabura

Tomada por: Autores. Agosto 2011

La conquista española es una época que marca notablemente el proceso de erosión en la Sierra ecuatoriana, los conquistadores dan un giro a todos los métodos, técnicas, prácticas agrícolas que los indígenas habían establecido a lo largo de la historia. La ambición española se impulsa hacia el uso agrícola del suelo, esta fase se ve marcada por los siguientes aspectos (De Noni, 1986):

1. La introducción de nuevos cultivos que principalmente provenían de España, dentro de las cuales se encuentran; árboles frutales, hortalizas y cereales.
2. Incremento del uso ganadero
3. Instalación del sistema privado de la tierra, considerando la dimensión más bien en sentido horizontal.
4. Uso de tracción animal
5. Prácticas extensivas de la mano de obra y de cultivos

Todos estos aspectos aceleraron el proceso de erosión notablemente, los nuevos cultivos no aptos para los suelos, el arado a mayor profundidad, surcos en contra del sentido de

la pendiente, rotaciones cortas. Esta nueva agricultura se dio en las zonas correspondientes a las cuencas interandinas, en las cercanías de las principales ciudades.

A pesar, que se dio un gran cambio en los patrones de comportamiento de la población el siguiente paso para entender el fenómeno estudiado es el establecimiento de la Reforma Agraria. La desigualdad de la tenencia de la tierra, evidenciaba monopolio donde el 1.16% de las superficie correspondía a las explotaciones agropecuarias y eran dueñas de alrededor de 63,9% de las tierras.

A partir del 11 de Julio de 1964, se expide la Ley de Reforma Agraria donde reconoce el derecho de acceder a la propiedad privada a los huasipungueros¹ aboliendo las imposiciones de los españoles y favoreció al proceso de degradación puesto que las tierras entregadas eran pocas, de bajo potencial agrícola, ubicados en un solo piso altitudinal y eran de carácter privado dejando de lado la idea de colectividad indígena (De Noni, 1986).

Esto da paso al fortalecimiento de minifundio en las zonas altas y la realización de usos cada vez de mayor intensidad sobre suelos frágiles afectándolos morfo dinámicamente y ahondando la problemática de la erosión en el Ecuador.

Diferentes estudios se han realizado en el Ecuador para poder comprender el proceso erosivo de los suelos, enfocándose principalmente en su intensidad, evolución y a partir de los últimos años su distribución geográfica en el país. Varios de los resultados de los estudios realizados demuestran el estado latente de la degradación del suelo a causa de este fenómeno.

Uno de los estudios fue realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería y el ORSTOM, se trata de un estudio cartográfico de los principales procesos erosivos en el Ecuador (De Noni y Trujillo, 1986)

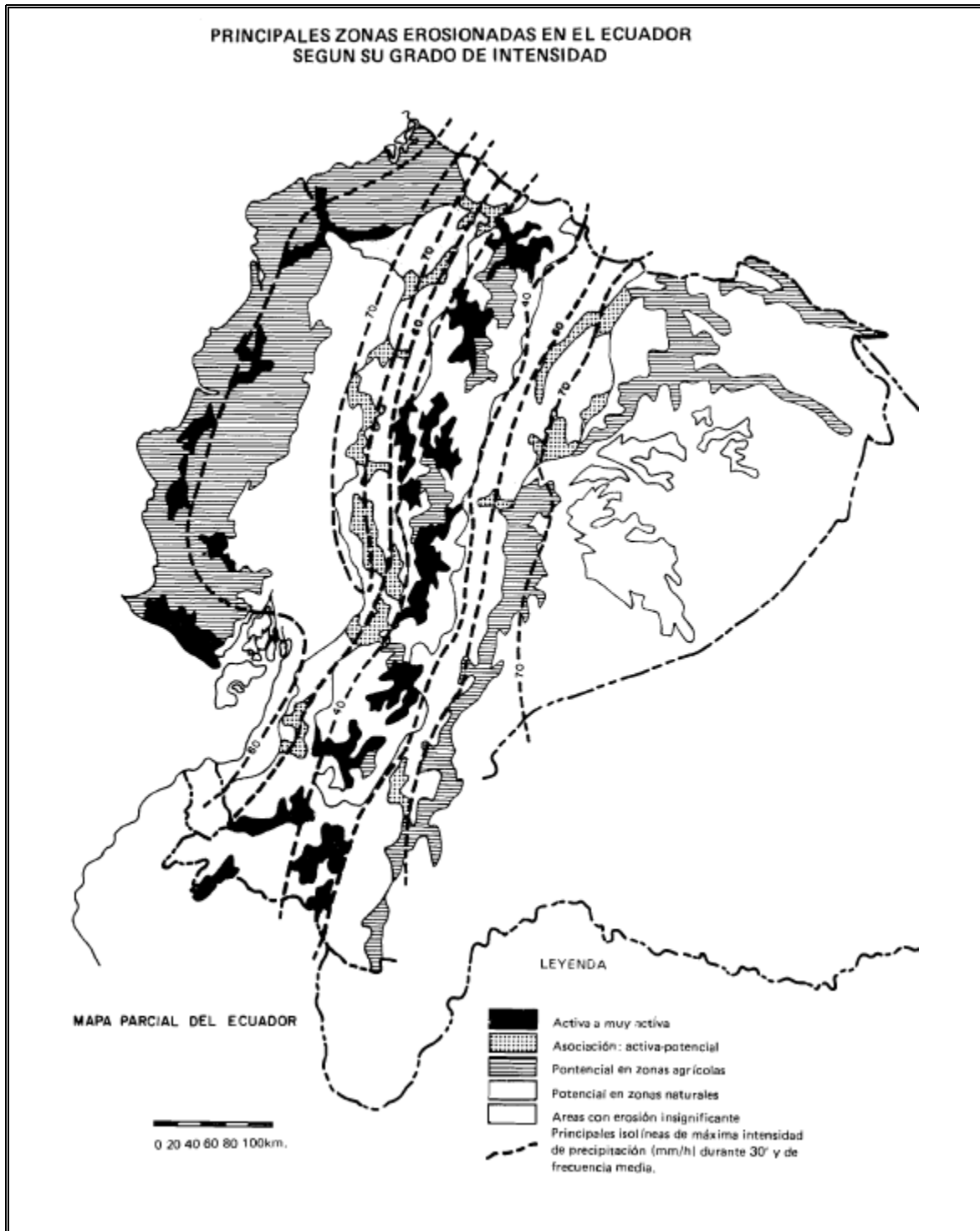
Este estudio arroja resultados que determinan que el cincuenta por ciento del país está afectado por el fenómeno de erosión; alrededor del 15% de la tierra afectada pertenecen al callejón interandino en alturas que van desde los 1500 a3000 m.s.n.m es una región afectada fuertemente por la erosión. El 35% corresponde a la zona de límite de la

¹ Indígenas que debían trabajar 4 a 6 días semanales para explotar una porción de tierra dentro de una hacienda.

frontera agrícola, tierras altas y los flancos exteriores de la cordillera de los Andes sin dejar de mencionar la región costanera y amazónica. El mapa de “Principales procesos erosivos en el Ecuador” demuestra a gravedad de la situación de los suelos interandinos, se trata de zonas con erosión activa generalizada y con altos riesgos erosivos básicamente en altas tierras y las vertientes exteriores de la cordillera de los Andes. Por otro lado, permitió diferenciar los procesos erosivos que ocurren en función de la intensidad. Se diferencian las siguientes categorías; muy activa refiriéndose a la presencia del proceso pero de una forma generalizada, activa, activa y potencial y potencial en cuanto a la presencia localizada con el riesgo de generalizarse (De Noni y Trujillo, 1986).

Las áreas activas y potencialmente afectadas ocupan alrededor del 47,9% de la superficie del país, el 12,1% pertenece a las intensidades de erosión muy activa y activa, y la asociación activa-potencial. La región con mayor afectación es la Sierra con un predominio de áreas con intensidades erosivas muy activas y activas. En los flancos exteriores de las cordilleras se observa intensidades “activa-potencial” donde existe un proceso de colonización agrícola, (De Noni y Trujillo, 1986). Ver figura 2.

Figura 2. Mapa de principales zonas erosionadas en el Ecuador según su grado de intensidad



Fuente: De Noni y Trujillo, 1986, 13

Según el mapa mencionado los siguientes procesos son los principales responsables del estado general de la erosión:

- 1) Esguerrimiento difuso y concentrado.- Se da a lo largo del denominado callejón interandino, el esguerrimiento difuso siempre se queda asociado al concentrado. El esguerrimiento concentrado aumenta conforme aumenta la pendiente y según la pluviometría que se presente.
- 2) Esguerrimiento asociado con pequeños movimientos en masa.- característicos de suelos con discontinuidad textural a poca profundidad. Se presenta en la parte Norte y Centro del callejón, el deslizamiento de la ceniza arcillosa forma abruptos que alcanzan 3 a5 metros de alto por efecto del esguerrimientos
- 3) Movimientos en masa.- Se produce en suelos arcillosos no volcánicos desarrollados sobre relieves colinado, estos generalmente se presentan en la zona de Cuenca (De Noni y Trujillo,1986).

2. 2 MARCO TEÓRICO -CONCEPTUAL

2.2.1 EDAFOLOGÍA

La ciencia que estudia los suelos se denomina Edafología la cual comprende los métodos de estudio, propiedades, localización geográfica clasificación de los mismos. Se trata de conceptos que se basan en estudios sobre la génesis de los suelos, las propiedades físicas, químicas, mineralógicas y biológicas. (Fraume,2000)

2.2.3 SUELO

De esta manera el término suelos involucra el concepto edafológico y el concepto pedológico, al considerar el suelo como: *“un cuerpo natural producto de procesos de meteorización, cuyas características pueden evaluarse siguiendo criterios establecidos en un sistema de clasificación de suelos aceptado internacionalmente con los cuales se puede definir los procesos pedogenéticos que han actuado produciendo el suelo”*(Núñez, 1945, pág. 13).

Según Núñez (1945) el término suelo tiene concepciones diferentes dependiendo del punto de vista desde el cual se lo maneje, por ejemplo; en Geología el suelo se lo define como un “material no consolidado situado en las superficie terrestre” y mientras que para la Cartografía de suelos este corresponde a un conjunto natural de cuerpos distribuidos sobre la superficie terrestre, cuyas propiedades físicas, químicas, físico-químicas y morfométricas difieren y es posible separarlos mediante un sistema de clasificación taxonómico establecido para poder delimitarlo en un mapa de suelos.

El concepto básico para la Cartografía de los suelos es (Núñez, 1945, pág. 13):

$$\text{Suelo} = \text{perfil} + \text{paisaje}$$

Considerando que las diferencias que existen en los suelos, son consecuencia de la relación que existe entre el paisaje² y perfil que se desarrolló por influencia de los factores formadores de suelo (relieve, organismos, clima y tiempo) los cuales actúan sobre el material parental produciendo un perfil o suelo que evoluciona con el tiempo

2.2.3 EROSIÓN DE LOS SUELOS

El suelo, desde el punto de vista ambiental tomando en cuenta su uso particularmente agrícola y sus características físicas determinan su sensibilidad de pérdida en un periodo de tiempo. Además, la visión antrópica que mira al suelo no como un recurso natural sino más bien como un elemento de producción agrícola, sin tomar en cuenta los procesos naturales que este necesita para su regeneración afectando directamente a las generaciones futuras y la seguridad alimentaria.

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre, constituida por materiales orgánicos e inorgánicos. El suelo, tiene una composición físico-química variable, lo cual posibilita la formación de diferentes clases de suelos. Dependiendo de esto tiene características productivas esenciales para satisfacer las necesidades del ser humano y al ser este un recurso importante para el ser humano, se ha desencadenado una serie de problemas sobre su uso.

La erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua. (Kirkby, 1980).

Este proceso de pérdida de materiales del suelo se caracteriza por dos tipos de factores (Noni y Trujillo, 1986); factores creadores que corresponde a precipitaciones y vientos; y factores condicionantes en los que se encuentran las pendientes de los relieves, las formaciones superficiales y el hombre como actor modificante de la cobertura vegetal.

Para poder comprender el desgaste de los suelos debe entenderse como se presentan los factores de erosión sean por su causa o por su origen. Los factores por origen: naturales dentro de los cuales se comprende: clima, relieve y vegetación y antrópicas: relacionado con las prácticas de manejo y conservación de los suelos. Mientras que los

² Unidad fundamental de la superficie de la tierras, perteneciente a una solo unidad climática y que tiene igual material parental y edad. (Núñez, 1945, pág. 13)

factores por agentes causantes se encuentran el agua y el viento que se presentan según la ubicación geográfica y los mismos que determinan características particulares para cada uno de los suelos.

El caso del agente agua, es causante de la *Erosión Hídrica* proceso en el cual la remoción del suelo y transporte de la partículas se debe principalmente al agente agua (Almorox, 2010). La lluvia es el principal agente en este tipo de erosión que debido a su intensidad, duración y frecuencia de eventos pluviométricos determina ciertas características a la proceso de erosión (Núñez, 2001). Influyen en la pérdida del suelo por el impacto que esta causa al momento de la caída de las gotas, por la fuerza con la que golpeé el suelo y por su contribución a la erosión por flujo superficial (Morgan, 1997). Además, influyen las características de intensidad o cantidad (mm) de lluvia por unidad de tiempo, frecuencia, duración de los periodos de precipitaciones en un rango determinado de años (Nuñez, 2001). La cantidad de lluvia determinarán un cierto tipo de vegetación, por ejemplo si existen precipitaciones medias anuales de 1000 mm da lugar a vegetaciones densas. Sin embargo, el problema surge cuando se da este tipo de precipitaciones en donde el bosque natural ha sido talado.

Además el tipo de lluvia asociado con la intensidad y el tiempo es otro factor influyente que trae consigo graves consecuencias en suelo descubiertos. A continuación se muestra un gráfico que simplifica la erosión del suelo a causa del agua:

Figura 3. Factores que afectan la erosión causada por el agua



Fuente: Suárez (1979), pág. 22

2.2.4 TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA

De acuerdo a lo mencionado anteriormente la erosión hídrica se diferencia por su forma de desgastar el suelo directamente (Núñez, 2001):

a) Erosión pluvial

Esta es causada por el impacto de las gotas de lluvia en la capa superficial del suelo y particularmente cuando no tiene cobertura vegetal. La fuerza con la que golpean las gotas el suelo (en función de la intensidad de la lluvia) produce un desprendimiento de las partículas del suelo. Dicho desprendimiento genera que las partículas de la capa superficial del suelo se disgreguen y se transporten como sedimentos hacia otro lugar, consecuentemente se produce la pérdida de nutrientes del suelo.

Figura 4. Diagrama de erosión pluvial

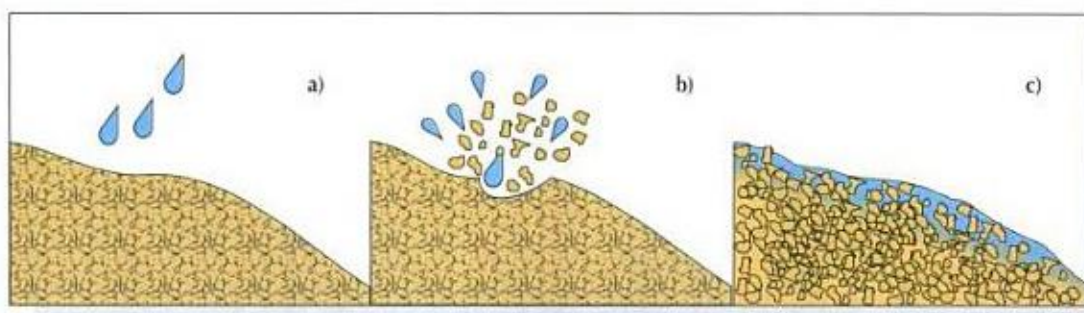


Figura 4.8 DIAGRAMA DE EROSIÓN PLUVIAL: a) La erosión pluvial, b) La erosión por impacto de las gotas de lluvia (salpique), c) La erosión laminar, que arrastra las partículas del suelo desprendidas.

Dibujo: Rafael Marillo-CEDA-ITCR.

Fuente: Núñez (2001)

b) Erosión Laminar

Las partículas desprendidas por las gotas de lluvia se encuentran suspendidas en el agua son arrastradas y desplazadas siguiendo el sentido de la pendiente. Dicho desplazamiento se produce en dos formas; *difusa* poco perceptible pero existe una exposición de las raíces de las plantas a la superficie terrestre y *uniforme*.

c) Erosión Surcos

Núñez (2001) describe este proceso erosivo como escurrimiento o flujo concentrado del agua, el agua se escurre por la superficie de los terrenos transportando las partículas de suelo paralelas al sentido de la pendiente. Concentran su flujo a lo largo de pequeñas depresiones de la superficie incluso en terrenos con pequeñas ondulaciones formando surcos. Los surcos inicialmente tienen medidas con valores que van de 3 cm de ancho y a 5 cm de profundidad y con el transcurso del tiempo y las condiciones del medio pueden llegar a medir 40 a 60 cm de ancho y 20-30 cm de profundidad (Núñez, 2001).

Este proceso se ve acelerado según las condiciones del medio y es mucho más activo cuando se presentan suelos desnudos y texturas finas, es decir suelos arcillosos y limosos.

Pero también se presenta en forma más violenta en suelos con texturas moderadamente gruesas, esto ocurre en suelos de origen volcánico por su capacidad de hidratarse en más del 100% sumando la pendiente y las condiciones de suelos desnudos generan erosión en surcos con mayor facilidad (Núñez, 2001).



Foto 3. Suelos con presencia de surcos
Tomada por: Autores. Junio 2011
Colta, Provincia Chimborazo

d) Erosión Cárcavas

Este tipo de erosión hace referencia a cauces con fuerte pendientes y encajados (Almorox,2010). Es decir, son cursos de agua permanentes con paredes empinadas que conducen efímeros flujos de agua durante las precipitaciones. Estas pueden alcanzar tanto en longitud como en profundidad grandes dimensiones que se traducen en pérdida de suelo por la mayor cantidad de sedimentos que transportan (Morgan, 1997). Este proceso se genera por una fuerte concentración del agua, escurrimiento y paisajes inestables.

Las cárcavas tienen dos características:

La forma: según su ubicación en laderas tienen forma en V mientras que en terrenos planos tiene forma de U.



Foto 4. Cárcavas

Lugar: Alrededores del cantón Nabón, Provincia Azuay

Tomada por: Autores. Junio 2011

La actividad cíclica y dinámica: Se refiere esencialmente a su proceso erosivo o remontante, donde Núñez (2001, 119) explica que:

“la concentración del agua que escurre por la parte superior de entrada a la cárcava, debido a su amplitud y altura de caída de agua de escurrimiento hasta la base de la cárcava erosiona sus flancos laterales e internos. Esto hace

retroceder el cauce (actividad dinámica), con lo que aumenta en tamaño y longitud hacia la cima de las laderas hacia la parte superior de entrada de agua de la cárcava”

2.2.5 ESTIMACIÓN DE EROSIÓN DE SUELOS

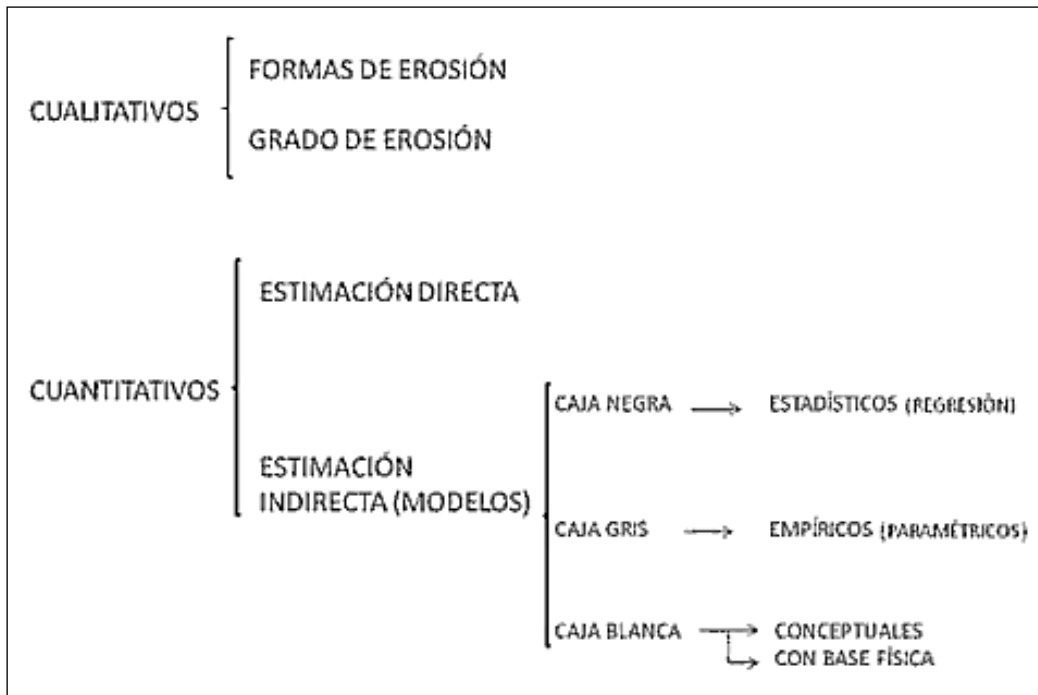
MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE EROSIÓN HÍDRICA

Inicialmente, la estimación de la erosión hídrica se basa en la determinación de factores que regulan el mecanismo del proceso de erosión a través de; métodos de observación, mediciones en campo, experimentos, técnicas de análisis estadísticos que permitan entender las relaciones entre los factores incidentes y la pérdida del suelo (Almorox,2010).

Por otro lado, en los últimos años las nuevas tecnologías relacionadas con los sistemas de información geográfica y sensores remotos ha logrado que la estimación de erosión involucren variables temporales y espaciales obteniendo resultados con mayor precisión.

Según Almorox (2010) las nuevas tecnologías permiten: *“considerar la variación espacial y temporal de los parámetros involucrados en la formulación, tener en cuenta una correlación simple de entradas y salidas del sistema, identificar alguna de las relaciones causa-efecto dentro del sistema...”* dando una visión diferente a los resultados de los métodos clásicos de estimación de erosión. Dicho autor ha generado una clasificación cualitativa y cuantitativa de los métodos de estimación de erosión de acuerdo a los resultados que cada método obtiene, el siguiente esquema simplifica dicha clasificación:

Figura 5. Clasificación de métodos de estimación hídrica



Fuente: Almorox, 2010

Conociendo los diferentes usos de los modelos de erosión es preciso mencionar que para la aplicación de cada uno de los métodos debe conocerse sus límites, alcances y la utilidad del mismo. Los resultados de su aplicación dependerán tanto de los objetivos planteados de una investigación como de los datos e información disponible y la forma en la que cada método sea aplicado (Almorox,2010)

Métodos cualitativos

Estos métodos se refieren principalmente a adjetivaciones ordinales de los diferentes caracteres que se consideran en el proceso erosivo. La cartografía se destaca en este tipo de métodos porque se diferencian unidades homogéneas en función de los parámetros que inciden en el proceso de erosión como; precipitaciones, suelo, vegetación, relieve, entre otros factores.

Cabe destacar que los sistemas de información geográfica y la teledetección son herramientas básicas para el procesamiento cartográfico y la representación del proceso erosivo.

Métodos cuantitativos

Su nombre indica realizan una cuantificación, es decir una estimación numérica del proceso erosivo, dando valores de la pérdida de suelo o rango estableciendo diferentes grados erosivos de la superficie terrestre.

Métodos cuantitativos de evaluación directa

Se refiere a los métodos que se aplican directamente, in situ o en el lugar exacto la estimación utilizando técnicas de; ensayos o mediciones (Almorox, 2010)

- Ensayos.- Ensayos.- Se refiere básicamente a técnicas instrumentos que permiten simular los procesos de lluvias para medir tasas de erosión con lluvias controladas y parcelas de campo que corresponden a una porción del terreno con características de tamaño, grado de pendiente, longitud de pendiente y tipo de suelo para controlar la pérdida de suelo (Morgan, 1997).
- Mediciones.-La medición de la pérdida del suelo causada por la erosión tiene como objetivo principal saber la cantidad de suelo en un espacio determinado que se desplaza cierta distancia en un tiempo específico (Kirkby, 1980).

Métodos cuantitativos de evaluación indirecta

En este tipo de métodos se utilizan modelos, los mismos que varían dependiendo del autor. La modelización del proceso erosivo y a la estimación de tasas de erosión se aplican cuando se dificulta la disposición o no se puede obtener valores de tasas de erosión de una forma directa (Almorox, 2010). Los modelos según, el documento *Modelamiento matemático aplicado al modelamiento espacial* define: “un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica.” (Pascuas, 2008, pág 1). Por otro lado la aplicación de modelos en el estudio de los sistemas naturales a parte

de la cuantificación, permite análisis, comprensión de la realidad utilizando procesos concretos y adaptables.

Para la estimación de la erosión hídrica se han propuesto diferentes tipos de modelos-métodos entre los cuales se tienen los siguientes:

Modelos perimétricos o empíricos.- Se plantean formulaciones empíricas interpretando los mecanismos erosivos por causas y efectos. Modelos basados en la lógica inductiva y están limitados a las condiciones de su desarrollo. Estos modelos son de gran utilidad en la planificación, se pueden enumerar los siguientes;

2.2.6 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DEL SUELO (USLE)

La ecuación universal de pérdida de suelo fue diseñada con el propósito de predecir la erosión laminar y en arroyuelos.

Inicialmente el modelo de Zingg (1940) quien relacionó la pendiente y la longitud de la ladera con la erosión. Posteriormente Musgrave (1947) incluye el factor climático precipitaciones máximas en 30 minutos en periodos de retorno de 2 año y Smith involucra un factor de cultivos (eficacia protectora), de conservación y de erosionabilidad del suelo. A partir de estos modelos el índice de erosividad pluvial es la diferencia y la base fundamental del modelo USLE y el cual fue modificado por Wischmeier y Smith (1978) (Morgan, 1997).

La ecuación es la siguiente (Morgan, 1997, pág. 126):

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

A= Es la pérdida de suelo en toneladas inglesas (907 kg)

R= Índice de erosividad de la lluvia basada en el índice EI_{30}

K= Factor de erodabilidad del suelo.- Número que refleja la propensión del suelo a sufrir cierto tipo de erosión. Las unidades dependen de la cantidad de suelo perdido por unidad de erosividad R, bajo condiciones típicas especificadas.

L= Factor de Longitud.- Relación que compara las pérdida de suelo con la de un campo experimental de longitud específica (22,6 metros).

S = Factor de la pendiente.- Relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo experimental de pendiente especificada (9%)

C = Factor de cultivo.- Relación que compara la pérdida de suelo con la de un campo, en el que no se realiza práctica alguna de conservación (barbecho desnudo cultivado).

P = Factor conservación.- Relación que compara la pérdida de suelos con la de un campo en que no se realiza práctica alguna de conservación.

Índice de erosividad de la lluvia basada en el índice EI_{30} (R)

El cálculo del índice EI_{30} de erosividad a partir de datos de pluviosidad, se necesita conocer la cantidad de lluvia que cae en distintos niveles de intensidad. La cantidad de lluvia en cada clase de intensidad se multiplica por el valor correspondiente de energía cinética, y los valores obtenidos se suman para toda la tormenta. En el método de EI_{30} el total resultante se multiplica por la intensidad en 30 minutos, para dar el valor de erosividad.

A continuación se presenta un gráfico con el ejemplo del cálculo del índice EI_{30} a partir de registros pluviométricos:

(a) Empleando el método EI_{30}

1 Intensidad (pulg/h)	2 Cantidad (pulg)	3 Energía (tons-pie/acre-pulg)	4 Total (Col 2 X Col 3)
0-1	1,5	816	1224
1-2	1,0	974	974
2-3	0,75	1048	786
> 3	0,25	1096	274
	<u>3,5</u>		<u>3258</u> tons-pie por acre

I_{30} se obtiene de los registros de pluviógrafos, como se indica en la figura 4.3.

Empleando un valor típico, pongamos de 0,6 pulg/hora

$$EI_{30} = E \times I_{30} = 3258 \times 0,6 = 1954,8 \text{ tons-pie/acre}$$

(1) Calculada mediante la expresión

$$\text{Energía cinética} = 916 + 331 \log 10 I$$

en la cual la energía cinética se obtiene en tons-pie* por acre y la intensidad en pulgadas por hora (Wischmeier, Smith y Uhland, 1958).

Esta expresión se ilustra en la figura 3.9 con unidades métricas.

Fuente: Hudson, 2006, pág. 56

Índice de erosibilidad del suelo (K)

Definido como pérdida media anual de suelo por unidad de R para unas condiciones tipo de suelo desnudo, labrado recientemente según la dirección de la pendiente, sin prácticas de conservación y sobre una ladera de 5° y 22 m de longitud K puede definirse para R en unidades métricas.

Factores de longitud de pendiente (L) y grado de la pendiente (S)

Se combinan en un solo índice (factor topográfico) que expresa la relación entre la pérdida de suelo en una ladera de pendiente, longitud y la que se produce en las condiciones tipo de 5° de pendiente y 22 m de longitud ($LS=1,0$). El valor de este factor puede obtenerse a partir nomogramas (Wischmeier y Smith 1978) o de la ecuación siguiente:

$$LS = \left(\frac{x}{22,13}\right)^n (0,065 + 0,045 s + 0,0065 s^2)$$

Donde x es la longitud de la ladera, en metros y s es la pendiente en tanto por ciento. El valor de n puede variar de acuerdo a la pendiente.

Factor de manejo de cultivo (C)

Representa la relación entre la pérdida de suelo con un cultivo dado y la que se produce en ese mismo suelo desnudo. Como las pérdidas de suelo varía con erosividad y la morfología de la cubierta vegetal es importante conocer en cada uno de estos a lo largo del año y así poder obtener un valor anual. El año se divide en periodos correspondientes a las etapas de desarrollo de los cultivos. Siendo así, para los cultivos anuales son;

Barbecho.- desde que se da el labor de alzar para el establecimiento de la cama de siembra;

Siembra.- Desde el laboreo secundario para la formación de cama de siembra hasta conseguir el 10% de la cobertura vegetal;

Establecimiento.- Desde que la cubierta vegetal cubre el 10% de suelo hasta que llegue al 50%;

Desarrollo.- Desde el 50 al 75% de la cubierta vegetal;

Madurez.- Desde el 75% de la cobertura vegetal hasta la recolección

Residuos y rastrojos.- Desde la recolección hasta la nueva siembra (Morgan, 2006)

Se obtienen valores para cada cultivo en cada uno de los periodos a partir de las tablas presentadas por la *UnitedStatesSoilConservationService*, cabe recalcar que los valores no solo varían para cada cultivos sino también en cada cultivo dependen de los rendimientos. Finalmente, los valores individuales para cada período se ponderan de acuerdo con el porcentaje de lluvia media anual (R) que cae en ese periodo y se suman para dar el valor anual C .

Factor de prácticas de control de erosión (P)

Se obtiene de tablas que relacionan las pérdidas de suelo en parcelas donde se aplican las prácticas con las producidas sin estas. Cuando no existen prácticas de control de erosión, el valor de $P = 1,0$. Los valores cubren el cultivo a nivel y el cultivo en fajas y varían con el grado de pendiente. Cuando se construyen terrazas de drenaje, se utiliza el factor P del cultivo a nivel y el factor LS se ajusta para la longitud de pendiente que representa la distancia horizontal entre terrazas (Morgan, 2006).

Wischmeier (1978) establece que esta ecuación fue desarrollada como una herramienta para la planificación de la conservación de los suelos, pero su aplicación debe estar exactamente para la cual fue establecida. La base fundamental de la ecuación se desarrolló para estimar la pérdida media anual del suelo en un periodo de un año, por lo tanto esta no puede ser usada para otro tipo de estimaciones como la producción de sedimentos (Morgan, 1997).

MUSLE

Se trata de la extensión de USLE hacia estudios de cuencas hidrográficas y paso a ser la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo desarrollada por Williams (1975), Foster y Meyer (1975).

RUSLE

Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo la cual considera nuevos valores de erosividad lluvia-escorrentía, susceptibilidad del suelo y otras.

Estos tres tipos de modelos han evolucionado con el tiempo y a medida que se tiene disponibilidad de información, permitiendo la estimación del proceso erosivo en otro tipo de condiciones y aumentando el espacio geográfico para su aplicación.

USLE-M

Este método contabiliza el efecto de la escorrentía, es decir un modelo efectivo para predecir la erosión en un único evento, fue desarrollado por Kinnell y Risse (1998).

Los métodos empíricos en general han evolucionado según la disponibilidad de información y la necesidad entender los procesos erosivos en los sistemas naturales. Estos modelos permiten tener aproximaciones e identificar las causas y los factores de la degradación de los suelos empíricamente. Sin embargo demandan información específica y en particular de intensidad de lluvias como es el caso del factor R de erosividad de la lluvia y sin dejar de mencionar que se trata de métodos que limitan e impiden la extrapolación espacial de la información.

2.2.7 MÉTODO STEHLIK

Este método *“permite estimar la erosión laminar y originada por microsurcos de suelo”* (Zavgorodniaya y Calle, 1993, Pág. 4). Toma en cuenta varios factores del medio físico que influyen en el proceso de erosión como son: el poder erosivo de la lluvia; susceptibilidad de suelos a la erosión según permeabilidad y estado de meteorización de la roca madre; el relieve en términos de pendiente y longitud de la pendiente y la cobertura vegetal. El método corresponde a una traducción del ruso al español extraído del documento “Evaluación erosivo-sedimentológica en la Cuenca Alta del Río Lempa, El Salvador” proporcionado por Dra. Svetlana Zavgorodniaya, a la vez, algunos valores han sido adaptados a las condiciones físicas de los Andes ecuatorianos y la información cartográfica disponible en el país.

La fórmula es la siguiente (Zavgorodniaya y Calle, 1993):

$$T = D * G * P * S * L * O$$

T: Tasa de erosión (mm/año)

D: Factor climático

G: Factor petrológico

P: Factor susceptibilidad del suelo a la erosión

S: Factor pendiente

L: Factor longitud de la pendiente

O: Factor efecto protector de la cobertura vegetal

Dónde:

Factor climático (D)

Expresados en términos de intensidad de las lluvias (mm/min) equivalente o mayor a 5t, donde t es la duración de la lluvia (min). La fórmula de Zarch (1982), permite estimar el término D, considerando la precipitación media anual, por medio de la expresión:

$$D = 0.0014R - 0.38$$

Es importante mencionar que en el presente estudio se utiliza la información de precipitaciones medias anuales en el área de estudio.

Factor petrológico (G)

Establecido en función de la permeabilidad y estado de meteorización de la roca madre; para el área de estudio se obtuvo la siguiente tabla:

Tabla 1. Permeabilidad y meteorización de la roca madre

Permeabilidad de la roca	Textura de suelos	Factor G
Baja (Arcilloso)	Fina	1.5-1.3
Mediana	Areno-Limosa	1.3-1.1
Moderada	Limo-Arenoso	1.1-0.9
Alta (Arenoso)	Arena Gruesa-Pedrusco	0.9-0.7

Fuente: Zavgorodniaya y Calle, 1993

Elaborado por: Stehlik

Factor de la susceptibilidad del suelo a la erosión (*P*)

Tabla 2. Textura fina y el contenido de materia orgánica

Tipo de suelo	Contenido de arcilla <0,01 mm. %	Contenido de humus		
		<2%	2-3%	>3%
Arenoso	<10	1,4	1,1	1
Limo arcilloso a arenoso limoso	10-30	1,5	1,25	1
Limoso	30-45	1,25	1	0,8
ArcilloLimoso	45-60	1,4	1,15	0,9
Arcilloso	>60	1,5	1,25	1

Fuente: Zavgorodniaya y Calle, 1993

Elaborado por: Stehlik

Factor de pendiente (*S*)

Se aplica la siguiente formula; $S = -0.217 + 0.10475^a + 0.0028s^2$ donde s es la pendiente en %, con una restricción límite de un 50%, se obtiene de la tabla siguiente:

Tabla 3. Pendiente en porcentajes

Pendiente %	5	7	9	12	15	20	30	40	50
Factor S	0.35	0.65	1.0	1.45	2.0	3.0	5.35	8.61	12.02

Fuente: Zavgorodniaya y Calle, 1993

Elaborado por: Stehlik

Factor longitud de pendiente (*L*)

Se expresa por la siguiente ecuación $L = 0.9336 + 0.0139 l$, donde l es la longitud de la pendiente, expresada en metros. Se puede obtener el factor de la siguiente tabla:

Tabla 4. Longitud de pendiente en metros

Longitud de la pendiente, m.	20	50	100	150	200	250	>300
Factor S	1.0	1.6	2.5	3.2	3.8	4.3	5.0

Fuente: Zavgorodniaya y Calle, 1993

Elaborado por: Stehlik

Factor del efecto protector de la cobertura vegetal (*O*)

El término *O* es producto de varios subfactores, que pueden evaluarse en forma independiente para cada tipo de situación. Se consideran las condiciones específicas para los terrenos; según el tipo de manejo y labranza; o para áreas totalmente desprotegidas o protegidas con vegetación permanente continua y discontinua.

Se puede aplicar la siguiente ecuación para su cálculo;

$O = 4.1143 - 0.0503 - 0.0001 o^2$ donde *o* representa el porcentaje de cobertura. Se puede obtener su valor de la tabla adjunta:

Tabla 5. Efecto protector de la cobertura vegetal

Porcentaje de la cobertura, %	100	95	90	80	70	60	50	40	20	0
Factor <i>O</i>	0.2	0.25	0.3	0.4	1.0	1.22	2.0	2.5	3.2	4.0

Fuente: Zavgorodniaya y Calle, 1993

Elaborado por: Stehlik

En base al cálculo de cada uno de los factores, la ecuación a utilizarse en la investigación corresponde a un *modelo cuantitativo empírico*.

Según, el documento *Modelamiento matemático aplicado al modelamiento espacial* define: “*un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica.*” (Pascuas, 2008, Pág. 1). Cuantitativo porque permite estimar la cantidad de suelo que se pierde en milímetros durante un año y empírico, relativo a la experiencia y condiciones del medio físico.

El uso de herramientas cartográficas permite la representación de la realidad en mapas y simulación de diferentes escenarios de un determinado fenómeno natural (RoffeLigtenberg y Rolf, 2004).

De esta manera, el modelo de STEHLIK, al ser dinámico y aplicable a diferentes formas por la información que maneja, da paso para que pueda integrarse en un ambiente de Sistemas de Información Geográfica (SIG) y sirva como marco para la modelación de fenómenos espaciales (RoffeLigtenberg y Rolf, 2004).

2.2.8 CONCEPTO DE ESTRATEGIA

El término *estrategia* según la Real Academia de la Lengua española se define como: “*un proceso regulable, conjunto de las reglas que aseguran una decisión óptima en cada momento*”. En cuanto a estrategias de manejo de suelos, existen principios utilizados como lineamientos básicos para desarrollar estrategias, estos se hacen en base a: aumento de cobertura del suelo, aumento de materia orgánica, aumentar la infiltración y retención de la humedad, reducir escorrentía, mejorar las condiciones del enraizamiento, mejorar la fertilidad química y la productividad, reducir los costos de producción, proteger parcelas, reducir la contaminación de suelos y el ambiente (FAO, 2000).

2.3 MARCO TECNOLÓGICO

2.3.1 SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

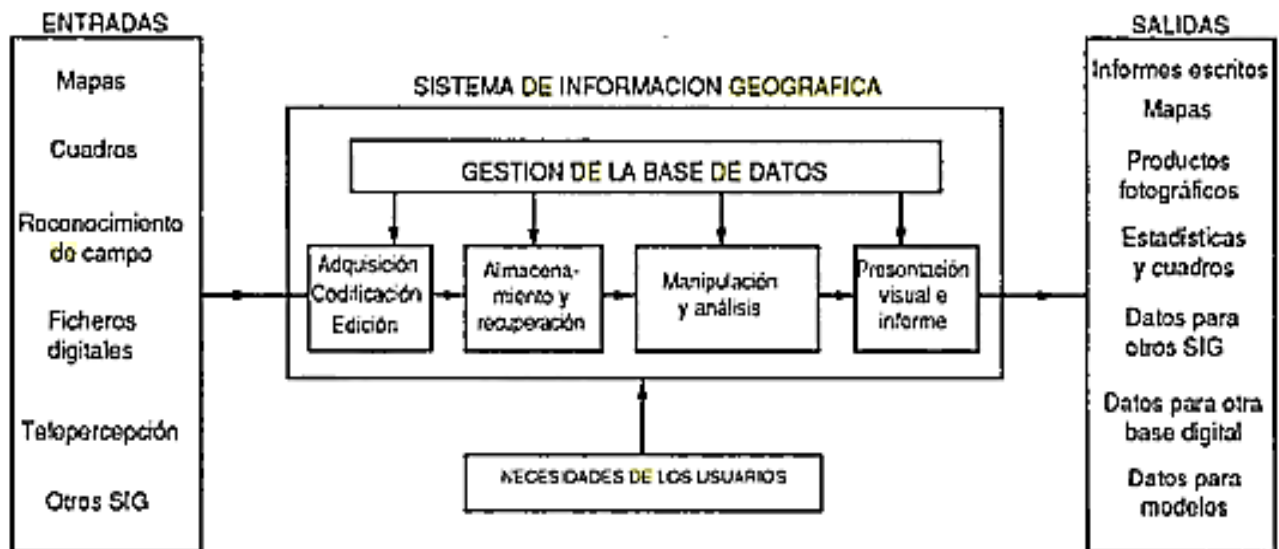
En el marco del presente estudio los Sistemas de Información Geográfica (SIG) son una herramienta clave que permiten analizar el entorno geográfico en el que se ha trabajado. La integración de métodos e información mediante herramientas SIG arrojan resultados que permiten obtener una visión de los fenómenos que se presentan en la realidad. Como es el caso de este estudio con la utilización del modelo planteado por Stehlik y su integración en un SIG posibilita la obtención de escenarios actuales sobre los procesos erosivos en los Andes Ecuatorianos.

Es complejo dar una definición exacta de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) por la evolución que este concepto adquiere con el pasar del tiempo, por otro lado estas se diferencian por el autor. Por ejemplo, la primera definición se dio en 1967 en Canadá por Tomlinson quien define a los SIG como “*una aplicación informática cuyo objetivo es desarrollar un conjunto de tareas con información cartográfica*” (Peña, 2008, Pág. 4). En 1988 Burrough y McDonell conceptualiza de la siguiente forma: “*Un sistema (normalmente asistido por ordenador, cuando se utiliza el término) de herramientas para reunir, introducir, almacenar, recuperar, transformar y cartografiar datos espaciales sobre el mundo real con el fin de satisfacer múltiples propósitos*” (Peña, 2008, Pág. 4)

Las definiciones han evolucionado con el desarrollo de los SIG y suponen una complejidad mayor que las anteriores como es el caso de la definición dada por, Nacional Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA) en la que incluye como parte de los SIG a los hardware, dando la siguiente definición “*Sistema de hardware y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados para resolver problemas complejos de planificación y gestión*”

Con una visión general a lo largo del tiempo de la definición, se puede entender a los SIG como la integración de hardware y software para la introducción, almacenamiento, manipulación y presentación espacial de los datos. Estos datos pueden ser de diferentes tipos; textuales, numéricos, y los cuales se representan en una forma cartográfica. A continuación se muestra un diagrama de la definición de los Sistemas de Información Geográfica.

Figura 6. Diagrama de sistemas que ilustra un SIG



Fuente: FAO, 1992

2.3.2 PROCESOS GENERALES DE LOS SIG

Entre otras aplicaciones que dependen de los requerimientos de los usuarios con el fin de cumplir los objetivos propuesto. A pesar que tiene diferentes aplicaciones, generalmente usan los SIG siguiendo un proceso:

- Organización de datos.- Almacenamiento de la información de una forma digital
- Visualización de datos.- Permite la visualización de diferentes datos para que se realice una interpretación de varios tipos de información.
- Producción de mapas.- se generan los mapas utilizando las diferentes herramientas cartográficas.
- Consultas espaciales.- La posibilidad de preguntar las propiedades de un determinado objeto, generando una interacción del usuario con los datos que maneja.
- Análisis espacial.- Permite evidenciar patrones o establecer relaciones dentro de los datos, realiza un análisis utilizando un conjunto de herramientas y técnicas para realizar una análisis de los objetos de la superficie terrestre.
- Previsión.-Modelamiento cartográfico o verificación de escenarios, permite evaluar los eventos que pueden ocurrir y los factores que pueden modificarse para entender los fenómenos que se dan en la superficie terrestre.
- Generación de escenarios.- Todos los procesos anteriores convierte a los SIG en plataformas ideales para el desarrollo de escenarios de situaciones probables que puedan darse en un área de estudio.

2.3.3 DATOS GEOGRÁFICOS

Estructura de datos vectorial.- Considera la realidad dividida en objetos discretos como son puntos, líneas y polígonos, los mismos que pueden ser cualitativos y cuantitativos (Peña, 2008) En otras palabras este tipo de estructura de datos representa la superficie terrestre según la geometría de los objetos y según sus propiedades topológicas. (Pérez, 2011)

Los datos vector permiten describir los elementos que se presentan en la superficie terrestre de acuerdo a la geometría que dichos objetos se presentan en la realidad. Utiliza puntos cuando los elementos tienen una localización específica, una línea si se trata de un límite o una trayectoria (red hidrográfica, vías, límites administrativos, etc.) y polígonos si el propósito es representar la superficie de los elementos.

- Puntos: Estructura vectorial simple cuya localización de puntos: se determina por un único par de coordenadas (x, y) y si se da el caso un valor z como otro atributo.
- Líneas: Compuestas por puntos su localización se determina por un conjunto de segmentos lineales conectados por una serie de puntos, por lo tanto su localización se da mediante un conjunto de pares ordenados de coordenadas.
- Polígonos: Las superficies se describen las líneas interconectadas que delimitan, la coordenada del inicio será la misma del final (Peña, 2008).

La información cartográfica recopilada inicialmente corresponde a una estructura de datos vectorial, donde las entidades geográficas han sido representadas mediante: *punto* lo referente a puntos GPS tomados en campo, poblados y estaciones meteorológicas; *línea* se ha utilizado información referente a vías, ríos, curvas de nivel; *polígono* correspondiente a precipitaciones medias anuales, litología, suelos, textura, materia orgánica, cobertura y uso de la tierra, división política administrativa cantonal.

Estructura de datos raster.- Se los denomina también malla de celdas o píxeles, esto hace referencia a un conjunto de unidades regulares constituido por celdillas o píxeles, en forma de mosaico. Las celdas tienen forma cuadrada que forma una malla regular en forma de mosaico o más conocida como la estructura raster (Peña, 2008).

La localización de las entidades geográficas hace referencia a la matriz de datos en la cual cada uno de los píxeles corresponde a una porción del territorio representado. En lo que respecta a resolución o escala es la relación del tamaño del píxel y el tamaño representado por la celda. Cada celda tiene un valor numérico que representa una característica del terreno en cuanto a localización (Peña, 2008)

La información cartográfica vectorial a través de un proceso de reclasificación y de procesamiento cartográfico ha sido transformada a estructura de datos raster, utilizando herramientas específicas para análisis espacial.

Operaciones con estructuras vectoriales.-

Operaciones matemáticas.-

Operaciones Lógicas: El álgebra booleana que utiliza operaciones lógicas del tipo verdadero o falso (ausencia o presencia) del resultado de: operaciones de unión, intersección, negación y exclusión.

Operaciones aritméticas: Se obtiene nuevos atributos como el resultado de operaciones de suma, resta, multiplicación, división, exponenciación, logaritmos, etc. Se calcula nuevos atributos con los resultados de los datos existentes

Operaciones con el formato de datos: Los atributos existentes de los datos se los expresa como distinto tipo de dato.

Operaciones Estadísticas: Se trabaja los nuevos atributos en base a los cálculos de media, moda, mediana, desviación estándar y otro tipo de funciones estadísticas de un atributo representado por n entidades.

Operaciones multivariadas: Los atributos que se obtienen en base al cálculo de un modelo numérico de un proceso físico o de regresión entre otros.

Operaciones con estructuras raster.-

Este tipo de datos se usan frecuentemente para el análisis de datos espaciales porque cada píxel o celda posee un atributo que permite modelización. Dentro de las operaciones que se pueden realizar se mencionan las siguientes:

Operaciones de algebra de mapas.- Se realizan operaciones matemáticas (suma, resta, multiplicación, división, etc.) con los datos de tipo raster, realizando solapamiento con las capas raster. El programa del ordenador aplica la operación a cada una de las celdas de la malla y permite la creación de modelos, dichos modelos serían los resultados de la secuencia de cálculos realizados con las capas raster (Peña, 2008).

CAPITULO 3

CÁLCULO DE TASAS DE EROSIÓN EN LOS ANDES ECUATORIANOS

3.1 GENERACIÓN DEL MAPA DE TASAS DE EROSIÓN

La generación del mapa de tasas de erosión requiere del procesamiento de información cartográfica, aplicación de herramientas cartográficas, manipulación y modificación de estructuras raster (grilla). Para la investigación se realiza un proceso de selección y depuración de la información cartográfica obtenida de diferentes instituciones. Seguidamente se muestra un cuadro simplificando el proceso de obtención y manejo de la información cartográfica según cada factor.

Tabla 6.- Información temática utilizada para elaboración del mapa de tasas de erosión en los Andes ecuatorianos

FACTOR	INFORMACIÓN REQUERIDA	INFORMACIÓN OBTENIDA	FUENTE	AÑO
Factor climático	Precipitaciones medias anuales	Distribución Anual de Precipitaciones	Mapa de Distribución Anual de Precipitaciones Año 2006-INAMHI	2006
Factor petrológico	Permeabilidad y estado de meteorización de la roca madre	Reclasificación de la información de litología a partir de la cobertura (.shp) de geología	Mapa Geológico INFOPLAN	2002
Factor susceptibilidad del suelo a la erosión	Textura y cantidad de materia orgánica	Suelos con información de textura de suelos y porcentaje de materia orgánica.	Mapa de suelos-SIGAGRO Escala 1:250.000 MAGAP	2002
Factor pendiente	Pendiente de acuerdo a la relación de porcentaje y límite de 50%	Pendiente expresada en rangos de porcentaje	Mapa de Pendientes del Ecuador Escala 1: 250.000 CLIRSEN	2000
Factor longitud de la pendiente	Pendiente expresada en metros	Pendientes expresado en rangos	Trabajo de campo*	2011
Factor efecto protector de la cobertura vegetal	Cobertura vegetal y uso de suelo	Uso de suelo	Mapa de uso y cobertura del suelo Escala 1:250.000 SIGAGRO Convenio MAG-IICA-CLIRSEN	2000

Fuente: Información cartográfica recopilada en el año 2011

Elaborado por: Autores

*Observaciones directas realizadas sobre las formas de relieve, descripción de los suelos, de la vegetación, uso del suelo y longitud de pendiente, y especificando las características particulares del proceso estudiado.

Reclasificación de la información cartográfica

La recopilación y selección de la información se la hace según los requerimientos de cada factor que involucra la fórmula. Como se menciona anteriormente para el presente estudio de pérdida del suelo se realiza una adaptación del método tomando en cuenta las características físicas y climáticas del área de estudio, a continuación se presentan las tablas con las reclasificaciones;

Factor climático

Tabla 7. Precipitación media anual

Precipitación media anual, mm	Factor D
R	$D= 0,0014R-0,38$
500	0,32
750	0,67
1000	1,02
1250	1,37
1500	1,72
1750	2,07
> ó = 2000	2,42

Fuente: Mapa de Distribución Anual de Precipitaciones Elaborado por: Autores
Año 2006-INAMHI

Factor petrológico

Tabla 8. Permeabilidad y meteorización de la roca madre

Permeabilidad de la roca	Textura de suelos	Factor G
Baja (Arcilloso)	Fina	1,4
Mediana	Areno-Limosa	1,2
Moderada	Limo-Arenoso	1
Alta (Arenoso)	Arena Gruesa-Pedrusco	0,8

Fuente: Mapa Geológico INFOPLAN, 2002 Elaborado por: Autores

Reclasificación: Según información cartográfica por la Dra, Zavgorodniaya S.

Ver Anexo 2. Tabla de reclasificación de la información cartográfica correspondiente a litología

Factor de la susceptibilidad del suelo a la erosión

Considera básicamente la textura y el contenido de materia orgánica de los suelos del área de estudio, se trabaja en función de la información cartográfica disponible en este caso la del Mapa de suelos- SIGAGRO Escala 1:250.000 y la siguiente tabla:

Tabla 9. Textura y contenido de materia orgánica

Tipo de suelo	Contenido de arcilla <0,01 mm. %	Contenido de humus		
		<1, 1-2%	2-4%	4-10%
Arenoso	<10	1,4	1,1	1
Arenoso-franco, Franco-arenoso, Franco, Franco-arcillo-arenoso, Franco-limoso	10-30	1,5	1,25	1
Arcillo-arenoso, Franco-arcillo-limoso, Limoso, Franco-arcilloso	30-45	1,25	1	0,8
Arcillo-limoso	45-60	1,4	1,15	0,9
Arcilloso	>60	1,5	1,25	1

Finalmente se presenta la información reclasificada obteniendo la siguiente tabla a partir de la información cartográfica disponible:

Tabla 10. Tabla de reclasificación de información cartográfica obtenida

TEXTURA	MATERIA ORGANICA (%)	FACTOR_P
Franco arcillo arenoso	Alto 4-10%	1
Franco limoso	Alto 4-10%	
Franco arcilloso	Alto 4-10%	0,8
Arcillo arenoso	Medio 2-4%	1
Arcillo arenoso	Medio 2-4%	
Arcillo arenoso	Medio 2-4%	
Arcilloso	Alto 4-10%	
Franco	Alto 4-10%	
Franco	Muy alto >10%	
Franco arcillo limoso	Medio 2-4%	
Franco arcilloso	Medio 2-4%	
Franco arenoso	Alto 4-10%	
Franco arenoso	Alto 4-10%	
Arcillo arenoso	Bajo 1-2%	1,25
Arcillo arenoso	Muy bajo <1%	
Arcilloso	Medio 2-4%	
Arenoso franco	Medio 2-4%	
Franco	Medio 2-4%	
Franco arcillo arenoso	Medio 2-4%	
Franco arcillo limoso	Bajo 1-2%	
Franco arcilloso	Bajo 1-2%	
Franco arenoso	Medio 2-4%	
Franco arenoso	Muy bajo <1%	
Franco limoso	Medio 2-4%	
Arenosa	Muy bajo <1%	1,4
Arenosa	Bajo 1-2%	
Arcilloso	Bajo 1-2%	1,5
Arcilloso	Muy bajo <1%	
Arenoso franco	Bajo 1-2%	
Franco	Bajo 1-2%	
Franco arcillo arenoso	Bajo 1-2%	
Franco arcillo arenoso	Muy bajo <1%	
Franco arenoso	Bajo 1-2%	
Franco limoso	Bajo 1-2%	
No aplicable	No aplicable	

Fuente: Mapa de suelos- SIGAGRO-MAGAP, 2002

Elaborado por: Autores

Reclasificación: En base al gráfico para la denominación de los suelos según textura (Ver Anexo 3).

Factor de pendiente

Se aplica la siguiente formula; $S = -0.217 + 0.10475^a + 0.0028s^2$ donde s es la pendiente en %, con una restricción límite de un 50%, se obtiene de la tabla siguiente:

Tabla 11. Pendiente o Inclinación

Pendiente	Rango (%)	Factor S
5	0 – 5	0,35
7	5 – 12	0,65
9		1
12		1,45
15	12 -25	2
20		3
30	30 – 40	5,35
40		8,61
50	> 50	12,02

Fuente: Mapa de Pendientes del Ecuador CLIRSEN, 2000 Elaborado por: Autores

Factor longitud de pendiente

Tabla 12. Longitud de pendiente

Longitud de la pendiente (m)	Factor L*	Rango
50	1,6	50-70% />70%
100	2,5	25-50%
150	3,2	5-12%/12-25%
200	3,8	0-5%

Fuente: Mapa de Pendientes del Ecuador CLIRSEN, 2000

*Realizado en base a las observaciones de campo del año 2011, con la extrapolación correspondiente al rango de pendiente en porcentajes

Factor del efecto protector de la cobertura vegetal

Tabla 13.- Efecto protector de la cobertura vegetal

Porcentaje de la cobertura	Factor O	Uso del suelo*
100	0,2	Banano
95	0,25	Caña, pastos cultivados, bosque natural
90	0,3	Bosqueplantado, arroz, páramo
80	0,4	Arboricultura tropical, palma, pasto natural, vegetación arbustiva
70	1	Áreas erosionadas, bosque intervenido.
60	1,22	Cultivosindiferenciados
50	2	Cultivos de ciclocorto
40	2,5	Cultivomaíz

*Nota: Las unidades eriales, afloramientos rocosos, bancos de arena, nieve y zona urbana son usos de suelo NO APLICABLES

La reclasificación de la información es necesaria tomando en cuenta las condiciones para las cuales fue creado el método y las características biofísicas del área de estudio. Seguidamente se enumeran los procesos que se realizaron para la generación de los mapas de cada uno de los factores:

1. Delimitación del área de estudio: Digitalización del área de estudio utilizando la información geomorfológica según el Mapa: Paisajes naturales del Ecuador, Escala 1:1000.000, CEDIG/IPGH-ORSTOM-IGM.
2. Correcciones de topología y geometría de la información digital para procesamiento cartográfico.
3. Recorte de cada una de las capas de información temática con el área de estudio delimitada.
4. Trabajos de campo para verificar o rectificar la información obtenida en el trabajo de gabinete.

5. Adaptación de los valores y generación de tablas según lo especificado en el método a aplicarse tomando en cuenta las características de los Andes ecuatorianos.
6. Reclasificación de la información según los valores establecidos utilizando algoritmos del software ArcGIS 9.3yArcGIS 10, y el análisis correspondiente para dicho procedimiento.
7. Definición del formato y colores de los mapas resultantes de las reclasificaciones.
8. Elaboración de los mapas parciales a escala 1:4'000.000 y tablas de las reclasificaciones realizadas.
9. Transformación de la información digital (.shp) de cada temática según el factor que corresponde, de tipo vector a raster con un tamaño de pixel 1500x1500.
10. Clasificación de las capas rasterizadas según la tabla de valores establecida en el método aplicado.

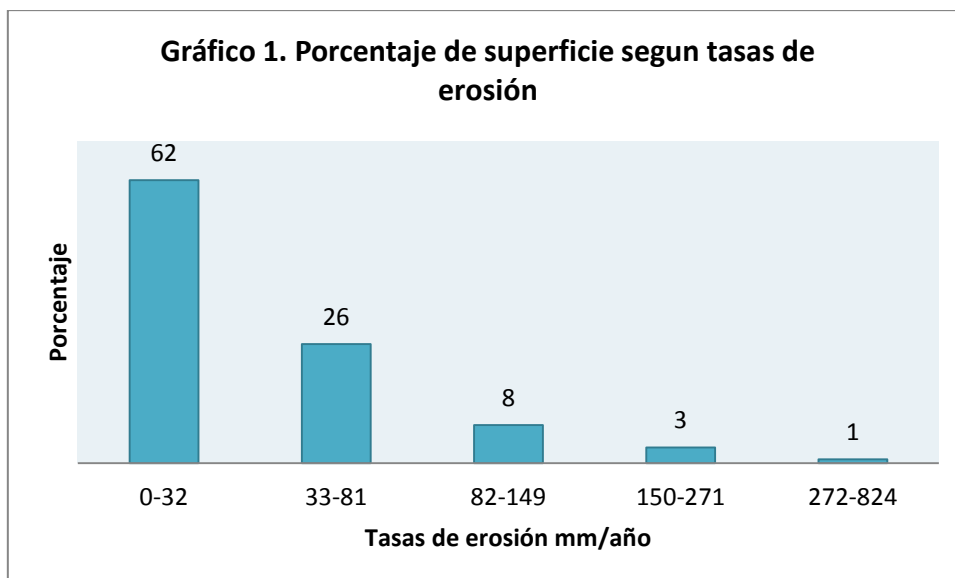
La determinación de los procesos para cada una de las variables que se ha trabajado de acuerdo al esquema establecido se genera los mapas parciales presentados a continuación según cada factor: Factor climático (Ver mapa 1), Factor petrológico (Ver mapa 2), Factor susceptibilidad de suelos a la erosión (Ver mapa 3), Factor pendiente (Ver mapa 4), Factor longitud de pendiente (Ver mapa 5) y Factor efecto protector de la cobertura vegetal (Ver mapa 6).

3. 2 TASAS DE EROSIÓN EN LOS ANDES ECUATORIANOS

La generación del Mapa de tasas de erosión se realiza una vez obtenida la información de cada factor, de acuerdo al proceso que se detalla seguidamente:

1. Aplicación de la fórmula del método de Stehlik utilizando herramientas de geoprocésamiento y análisis espacial para realizar álgebra de mapas (cálculo).
2. Algebra de mapas utilizando la herramienta Raster Calculator (arcGIS 10)
3. Obtención de la capa raster y reclasificación de los resultados en 5 clases según el correspondiente análisis.
4. Definición del formato y colores para la elaboración del mapa final.
5. Generación del Mapa de tasas de erosión en los Andes Ecuatorianos.

Los resultados de la información generada representada en el mapa determinan unidades básicas en las que existe una pérdida de suelo anual de hasta 824 mm en el área de estudio y tasas mínimas con valores de 33 mm. La clasificación realizada automáticamente por el software diferencia cinco rangos según los valores de la pérdida del suelo. Siendo así, da como resultado que el 62 % de la superficie tiene pérdida de suelos hasta 32 mm/año, es decir que en la mayor parte de los suelos del área de estudio existe un proceso de erosión mínimo de acuerdo con los procesos naturales. Seguidamente se encuentran las tasas de erosión que van de 33 a 81 mm/año que ocupan un porcentaje del 26% y los suelos con pérdidas anuales de 82 a 149 mm correspondiente al 8% de la superficie total. Sin embargo los suelos que evidencian una aceleración del proceso erosivo ocupan una superficie del 7% puesto que presentan pérdidas anuales mayores a 150 mm/año, ver Gráfico 1.



Fuente: Mapa de tasas de erosión en los Andes ecuatorianos Elaborado por: Autores

De acuerdo a la ubicación geográfica “los valores altos de las tasas de erosión se ubican en el contacto entre las vertientes exteriores orientales y piedemontes periandinos, y las vertientes exteriores occidentales en contacto con los piedemontes y llanuras costaneros, y también son representativas en contrafuertes subandinos. De manera muy localizada están mapeadas en el sector sur occidental de las montañas de sur” (Zavgorodniaya y Enríquez, 2011, Pág. 17).

En los Andes ecuatorianos, los valores obtenidos se observan sitios en los que existe una pérdida de suelo anual que van de 271 a 824 mm/año, es decir los lugares más afectados con los procesos erosivos. Estos valores se dispersan en toda el área de estudio, pero el sitio con mayor extensión se ubica a lo largo del Pie de monte Periandino entre los centros poblados de Mera y Puyo hasta el sur occidente de Palora. También observa esta situación hacia la parte occidental del cantón Mejía aproximadamente en el área colindante con el cantón Sigchos y hacia el sur de esta área en la localidad El Corazón en el cantón Pangua.

Los suelos con tasas de erosión de 149 a 270 mm/año de igual forma se distribuyen indistintamente en el área, hacía en noroccidente del área una parte de los suelos del cantón Quinde de Esmeraldas y en la provincia de Imbabura entre Cotacachi y Otavalo, y hacia el occidente del cantón Tena

Hacia el occidente del área de estudio se forma una franja con los mismos valores de tasas de erosión que se localizan aproximadamente desde los cantones de Echandia de la provincia de Bolívar hasta Pallatanga en la provincia de Chimborazo, atravesando las de Caluma (Bolívar) y Montalvo (Los Ríos). Hacia el oriente de igual manera de una forma vertical desde Archidonade la provincia Tena hasta Macas y una porción del cantón Sucua y Santiago de Morona Santiago. En la Sierra Sur se observa únicamente alrededor del centro poblado del El Panguí en Zamora Chinchipe y en menor proporción en Gonzanama de la provincia de Loja.

Los suelos que registran valores de tasas de erosión de 81-148 mm anualmente se distribuyen en particular en las vertientes externas de Andes occidentales como orientales, no obstante estos suelos se ubican en mayor extensión hacia el oriente. De acuerdo a la ubicación geográfica los suelos en estas condiciones están los cantones Gonzalo Pizarro de la provincia de Sucumbios, hacia el sur los suelos de los cantones Quijos, Archidona y Tena de la provincia de Napo. En los alrededores de los centros poblados de Macas, Sucua, y en la Sierra Central en Santiago de Méndez, Deleg y Paute se evidencian los mismos valores de pérdida de los suelos por la erosión. En el sur en la provincia de Loja en la zona limítrofe de los cantones Pindal, Puyango y Celica y parte del cantón Catacocha se observan pérdidas de suelos dentro de este rango.

Los suelos que se pierden entre 32 y 80 mm/año muestran una localización en particular en el noroccidente y oriente de los Andes ecuatorianos aunque en mayor superficie en la parte oriental, en forma lineal de norte a sur desde El Chaco (Napo) hasta el cantón San Juan Bosco de la provincia Morona Santiago. En menores superficie desde Santiago de Méndez hasta Gualaquiza, de igual manera hacia el sur del área de estudio Pucara, Santa Isabel, Chilla, Paccha, Zaruma y Amaluza.

En base al análisis de la distribución de los valores se observa un predominio de suelos con tasas de erosión que van de 0-32 mm/año, valor que indica que existe erosión pero en cantidades menores. Estos valores se registran en toda el área de estudio, tanto en el norte, centro y sur del área corresponde a los valores de tasas de erosión de más extensión territorial ocupando el 62% de la superficie del área. Si bien son valores mínimos estos no significa que los suelos no estén afectados por la erosión y el hecho de perder alrededor de 3 cm de suelo anualmente tal vez no tenga mayor relevancia o implique problemas en la productividad de los suelo, en 10 años ya se habrán perdido

30 cm lo que corresponde a la capa productiva de los suelos de vital importancia para las actividades agrícolas.

Los trabajos de campo realizados entre junio y agosto del año 2011, a lo largo de las vías principales y secundarias recorridas: Quito-Riobamba-Nabón-Cuenca-Loja-Macara-Alamor-Machala-Quito y Quito-Perucho-San José de Minas-Otavalo-Ibarra-El Ángel-Tulcán-Bolívar-Pimampiro-Mariano Acosta-Ibarra-Quito (Ver Anexo 4. Mapa de recorrido de salidas al campo) permitieron observar la situación y condición de los suelos en las diferentes lugares donde se realiza el estudio.

Las observaciones directas realizadas en 431 sitios sobre las formaciones geológica con la recolección de muestras, descripción de los suelos, de la vegetación y uso del suelo y especificando las características particulares del proceso estudiado (Ver Anexo 5.1 y 5.2. Tabla de puntos y observaciones levantados en salidas de campo); se identificaron lugares donde se aprecian las áreas con la degradación total de los suelos (Ver foto 5 y foto 6) con la toma de fotografías.



Foto 5. Erosión y desgaste de suelos en cercanías a la población Mira, Provincia Carchi
Tomada por: S. Zavgorodniaya. Agosto 2011



Foto 6. Erosión y desgaste de suelos en cercanías a la población Nabón, Provincia Azuay
Tomada por: S. Zavgorodniaya. Junio 2011

Los resultados sin duda son alarmantes, demuestran claramente la situación crítica de los lugares donde los suelos de una u otra forma aún existen. Sin embargo, las condiciones a los que estos están sometidos son las variables que determinaran el tiempo de productividad de los mismos. Alrededor de la mitad de los suelos están cultivados en los Andes ecuatorianos, por lo tanto están bajo la amenaza de la pérdida total de su potencial productivo, es decir el deterioro es inevitable especialmente y aún más rápido en lugares con los suelos poco desarrollados y en los sectores donde aumenta la agresividad climática a través de la variabilidad pluviométrica.

A continuación en la siguiente página se encuentra el Mapa 7. Tasas de erosión en los Andes Ecuatorianos (sobreponer la transparencia adjunta con la división política administrativa del país):

CAPITULO 4

CARACTERIZACIÓN SOCIO-AMBIENTAL DE LOS ANDES ECUATORIANOS

En el presente capítulo se realiza una caracterización ambiental y social de los Andes ecuatorianos para comprender la situación del proceso erosivo. Por un lado en el contexto ambiental, se encuentra un análisis de las tierras agrícolas y la distribución de las mismas en el área, la profundidad de los suelos y su importancia para que se produzca la erosión, para finalmente comprender como es la pérdida de la productividad de las tierras agrícolas. En el ámbito social en cambio, se analiza la población y las tasas de crecimiento poblacional, después se estudia la influencia de la erosión en la producción para determinar si existe una relación entre las tasas de crecimiento poblacional y la pérdida de las tierras agrícolas.

4.1 CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL

4.1.1 TIERRAS AGRÍCOLAS EN LOS ANDES ECUATORIANOS

La agricultura es una de las actividades económicas que alrededor del mundo fue producto de la transición de la caza y la recolección de frutos, el desarrollo agrícola constituye una forma más segura de mantener una fuente de alimentos para las poblaciones (IGM, 2010). Esta actividad pasa a conformar un eje estratégico en el marco de la seguridad alimentaria. Sin embargo, es una de las actividades económicas con mayores carencias en cuanto a: infraestructura básica adecuada, organización, competitividad y acceso al mercado internacional.

El Ecuador ha sido conocido como un país con potencial agrícola a lo largo de la historia, sus suelos se han caracterizado por ser productivos y necesarios para el desarrollo agrícola del país. Es un hecho que en la historia la aparición de la agricultura constituye un punto de partida del progreso de las civilizaciones y fue influencia de desarrollo de otras actividades. Es por esta razón que la situación de los suelos no depende solamente de la evolución y procesos morfodinámicos, gran parte se debe a los resultados antrópicos heredados de una época colonial y que continúa impactando los suelos (De Noni, 1986). (Ver Anexo 6. Principales cultivos del Ecuador, serie histórica del 2000-2010)

Tabla 14. Superficie de uso de suelo agrícola a nivel nacional

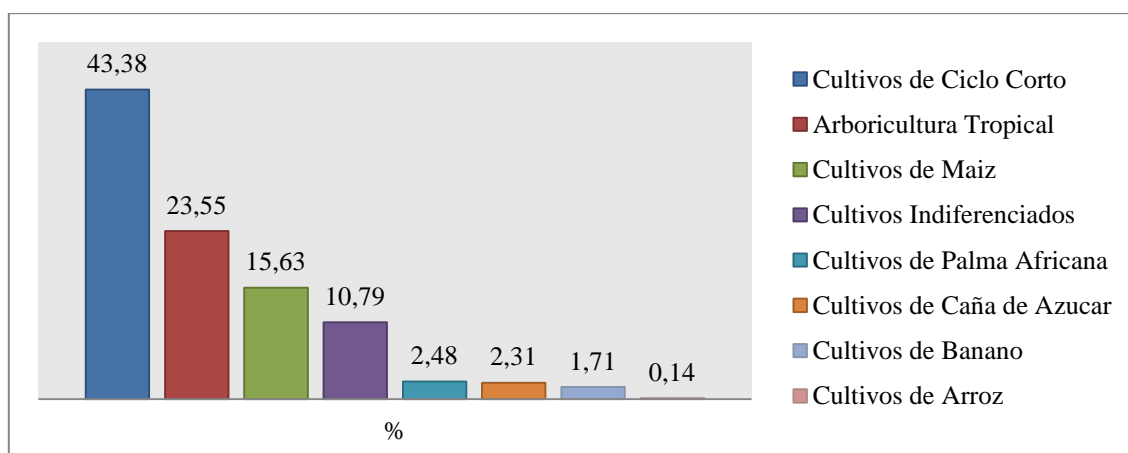
Uso	Superficie (ha)	Porcentaje
Cultivos	2548655	21,57%
Pastos	4985890	42,20%
Páramos	498436	4,22%
Montes y bosques	3548735	30,04%
Otros usos	232598	1,97%
TOTAL	11814314	100,00%

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario Elaborado por: MAGAP-SIGAGRO, 2002

Según el III Censo Nacional Agropecuario a nivel nacional las actividades agrícolas para el año 2009 ocupaban una superficie 2548655 ha (21,57%), en lo que se refieren a cultivos permanentes, transitorios y barbecho, y en descanso, mientras que los pastos ocupan 4985890 ha.

El mapa de uso de suelo utilizado en el estudio muestra la distribución de los diferentes usos de suelo agrícola en el área de estudio y se obtiene la siguiente información como se muestra en el Gráfico 2. Sin embargo, resulta indispensable mencionar que para los valores que se presentan en base a la cartografía obtenida por procesos de fotointerpretación visual digital de imágenes satelitales Landsat TM de los años 1999 a 2000 y combinación de bandas 453 se desconoce la época del año, es decir si las imágenes corresponde a época seca o época lluviosa y no se obtiene información referente a cultivos en barbecho o descanso.

Gráfico 2. Porcentaje de superficie agrícola según el tipo de cultivo



Fuente: Mapa de uso y cobertura del año 2002 Elaborado por: Autores

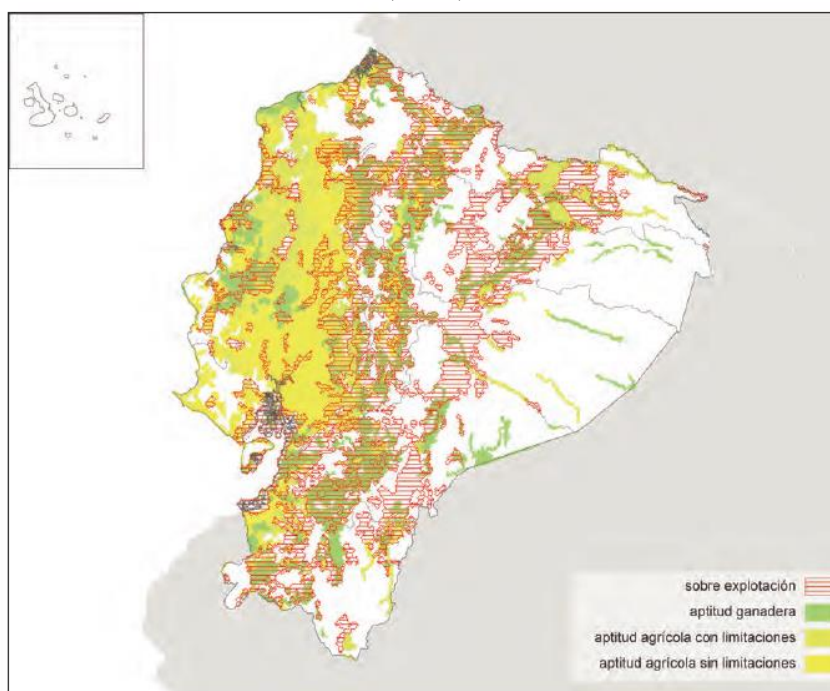
El Atlas Geográfico del Ecuador (IGM, 2010) menciona que en la Sierra la frontera agrícola se encuentra entre los 3200 y 3800 m.s.n.m. Los cultivos se localizan dependiendo las condiciones de temperaturas que estos requieran, por ejemplo:

- Piso superior sobre los 3200 m.s.n.m. se encuentran la cebada, trigo, haba y papa
- Piso medio entre 2400 y 3200 m.s.n.m. se cultiva maíz, fréjol trepados, trigo de variedad templada y pastos.
- Piso inferior bajo los 2400 m.s.n.m. apto para caña de azúcar, tomate, fréjol de mata y frutales

La Sierra que corresponde a un porcentaje de los Andes ecuatorianos es una región que por su naturaleza es susceptible a procesos erosivos, representa el dualismo que ha existido entre la agricultura conservacionista de las sociedades pre coloniales y la de los españoles que importaron agricultura vulnerable a la erosión.

El siguiente gráfico permite tener una apreciación de los suelos con aptitud agrícola que se encuentran en conflicto por las actividades productivas con manejos inadecuados:

Figura 7. Zonas de aptitud agrícola y áreas de conflicto por actividades productivas (2000)



Fuente: Plan Nacional del Buen Vivir, 2009

Elaborado por: SENPLADES

En los Andes ecuatorianos de acuerdo a la cartografía utilizada en la investigación los cultivos cubren una superficie de aproximadamente de 1`944.163 ha, es decir el 16,3% de la región.

Los cultivos de ciclo corto, esto es los cultivos cuya siembra y cosecha se da en un tiempo menor a un año, presentan una superficie de 43,38 % dentro del área , los cultivos de ciclo corto generalmente son cultivos principalmente para el consumo local o autoconsumo. Es evidente que este tipo de cultivos según las prácticas de manejo con las que se realice se pueden realizar dos o más cosechas anual intensificando el uso del suelo. Además, dependerá del cultivo que se siembre y la protección que este brinde al suelo. La arboricultura tropical ocupa un 23,55%, seguido del cultivo de maíz con un 15,63% de la superficie total. La superficie de maíz sembrado cada año difiere de acuerdo las condiciones de; variabilidades climáticas de la zona., plagas, tecnología, capital humano y la rentabilidad del cultivo según la temporada. Desde este punto de vista se hace evidente una comprensión a fondo de la situación de los suelos con uso agrícola de los Andes ecuatorianos. Cada tipo de cultivo y cultivos en si generan un impacto diferente en el suelo, es por esta razón la diferencia del estado erosivo del sustrato.

En el proyecto “Causas, efectos y riesgos morfo-dinámicos asociados al cambio climático en Ecuador”, 2011 se realiza una generalización de los diferentes usos de suelo en el área de estudio. Se genera en base al mapa de uso del suelo mencionado donde se realiza la transformación de coordenadas hacia el sistema definido para el presente trabajo (WGS_1984_UTM_Zona_17S); se extrae únicamente lo correspondiente al área de estudio, en donde se identifican 20 tipos de cobertura vegetal y uso del suelo. Estos 20 tipos de uso reclasificados, agrupándolos de la siguiente manera:

Tabla 15. Reclasificación de uso de suelo en grandes grupos

USO	RECLASIFICACIÓN DE USO
Arboricultura Tropical	Cultivos indiferenciados
Cultivos Indiferenciados	
Cultivos de Arroz	
Cultivos de Banano	
Cultivos de Caña de Azúcar	
Cultivos de Ciclo Corto	
Cultivos de Maíz	
Cultivos de Palma Africana	
Pasto Cultivado	Pastos indiferenciados
Pasto Natural	
Nieve	Páramos y nieve
Páramo	
Área Erosionada	Áreas erosionadas
Zonas Erosionadas	
Bosque Intervenido	Vegetación natural y bosques plantados
Bosque Natural	
Bosque Plantado	
Vegetación Arbustiva	
Zona Urbana	Uso urbano

A partir de la generalización de la información de uso de suelo realizado en el proyecto mencionado se procesa la información haciendo una extracción de información espacial relacionada al uso de suelo netamente agrícola, decir lo que se ha denominado como cultivos indiferenciados en la Tabla 15, ver Mapa 8. La información espacial obtenida arroja resultados que demuestran la situación agrícola de los Andes ecuatorianos, la superficie agrícola en el área de estudio es de 16,5% de la superficie total del área, con un predominio de cultivos en las cuencas interandinas de la Sierra Norte y Central con un 4,4% del total del área. Además, alrededor del 2.1% corresponden a superficies cultivadas dentro de los páramos occidentales, seguido del 1,5% ubicado en los páramos orientales. En los trabajos de campo realizados en el años 2011 se observó suelos sometidos en general a prácticas inadecuadas como por ejemplo; cultivar contra la pendiente, arado mecánico en áreas con pendientes fuertes, el abuso de fertilizantes, riego inadecuado para “mejorar el rendimiento” dicho de alguna manera, esto conlleva a que su capa arable se pierda con el paso del tiempo dejando suelos desnudos expuestos a agentes físicos como el agua o viento que los erosionan.

MAPA DE USO DE SUELO AGRICOLA SEGÚN CULTIVOS

El mapa No.8 representa las superficies cultivadas en el área de estudio, si bien la actividad agrícola en el país depende de cierta manera de este rubro en indispensable conocer las condiciones en las que esta actividad se da en área.

Las potencialidades agrícolas en los Andes ecuatorianos en las tierras cultivadas en el año 2002 se analizan en función de la profundidad y tasas de erosión. El establecimiento de una relación entre la profundidad de los suelos o espesor (cm), el uso agrícola y las tasas de erosión (cm/año) dan como resultado la sensibilidad de pérdida de los suelos en un determinado tiempo. Este análisis permitirá distinguir varios escenarios del proceso erosivo y establecer estrategias para manejar adecuadamente el problema.

4 1.2 PROFUNDIDAD DE SUELOS Y EROSIÓN

La propiedad de suelos conocida como profundidad efectiva del suelo hace referencia al espacio en donde las raíces de las plantas pueden penetrar, con el fin de obtener elementos como agua y nutrientes necesarios para su desarrollo y crecimiento. De la profundidad de los suelos depende como los cultivos se desarrollan, es decir a mayor profundidad las plantas tienen mayores posibilidades de subsistencia. Según Hudson (1982, Pág. 156) en su libro “Conservación del suelo” define la profundidad efectiva como: *“La profundidad del suelo que puede proporcionar un medio adecuado para el desarrollo de las raíces, retener el agua disponible y suministrar nutrientes existentes”* Esto quiere decir que a la profundidad que aparezca grava, roca madre u otro tipo de elemento son condiciones desfavorables para un desarrollo de las plantas.

Generalmente, los pequeños agricultores preocupados por mejorar sus ingresos aumentando la producción tienden a disminuir su preocupación por la pérdida de suelo a lo largo de los años, se centran más bien en el empleo de tecnologías muchas veces no aptas para los diferentes suelos en los que producen.

Es por esta razón que a continuación se hace un análisis de la profundidad de los suelos agrícolas. A partir de la información cartográfica obtenida del mapa de suelos elaborado por SIGAGRO año 2002 a escala 1:250.000 se extrae la información referente a profundidad de área de estudio enfocada a la superficie agrícola. La información original de la fuente mencionada clasifica los suelos de la siguiente manera, ver Tabla 16 (Ver Anexo 7. Mapa de profundidad de suelos)

Tabla 16. Clasificación de suelos en base a la profundidad

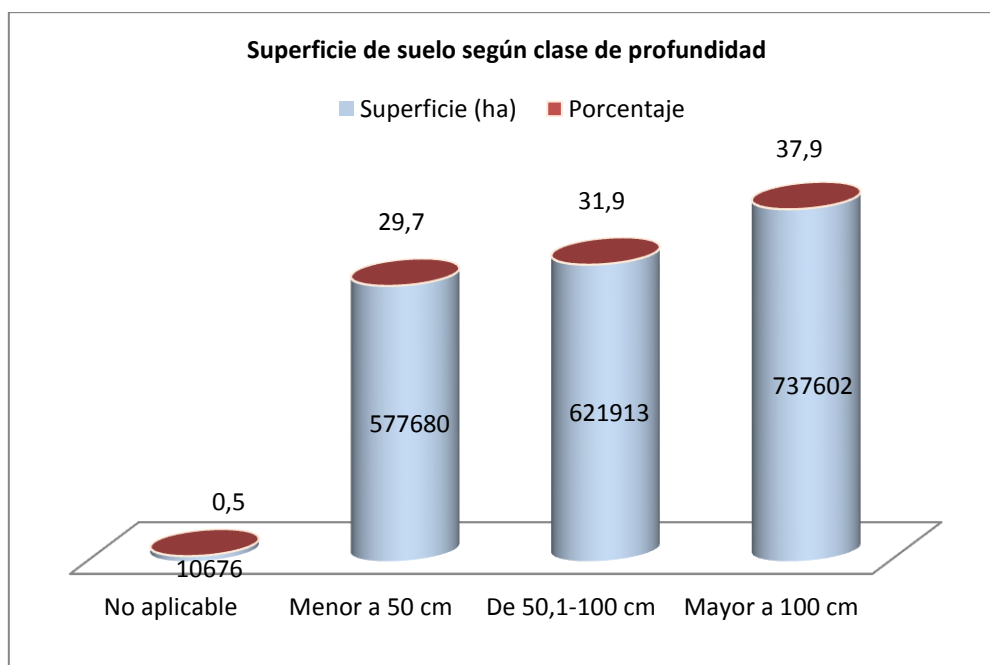
TIPO	PROFUNDIDAD
Superficial	0-20 cm.
Poco Profundo	20-50 cm.
Moderadamente Profundo	50-100
Profundo	>100 cm.
No Aplicable	

Fuente: MAGAP, 2002

Elaborado por: Autores

Para el manejo de la información cartográfica se procede a realizar una reclasificación, la cual consiste en la agrupación de las categorías superficial de 0-20 cm y poco profundo 20-50 cm en una sola clase que constituye a la clase de menor a 50 cm. Esta clasificación se la hace tomando en cuenta que la unidad mínima de profundidad para uso agrícola corresponde a 30 cm. Por lo tanto la clasificación para el análisis se determinan cuatro categorías; menor a 50 cm., de 50.1- 100 cm, mayor a 100 cm y no aplicable.

Gráfico 3. Superficie de suelos según clase de profundidad



Fuente. Mapa de Suelos del Ecuador, SIGAGRO (2002)

Elaborado por: Autores

Según el gráfico anterior los suelos con una profundidad mayor a 100 cm, tienen una superficie de 737602 ha en los Andes esto corresponde al 37,9%. Los suelos con una profundidad que va de 50,1 a 100 cm. representan el 31,9% de la superficie agrícola, y finalmente los suelos poco profundos con un 29.7% (577680 ha) de la superficie total. Con el paso del tiempo y las condiciones a las que se ven sometidos los suelos los valores aumentan y disminuyen según la situación. Sin embargo, al obtener estos resultados es fundamental tomar en cuenta la precisión de la información cartográfica y la calidad de la misma, ya que estos pueden variar con la situación real.

Generalmente, en los pequeños productores la rentabilidad o incremento de la producción para obtener mayores ingresos son prioridad, dejando de lado el desgaste o degradación que sufre el suelo por las actividades agrícolas. A esta situación debe incluirse todos los mecanismos de fertilización para mantener la producción. La disminución de la profundidad del suelo se da a lo largo del tiempo de acuerdo al uso e intensidad de uso de los suelos. El siguiente mapa (Ver Mapa 9 de Profundidad de suelo en los Andes Ecuatorianos) muestra la profundidad de los suelos de uso agrícola en el año 2002. De acuerdo a la ubicación geográfica tanto las cuencas interandinas Norte y Centro son suelos con menor espesor evidencian una mayor susceptibilidad de desgaste de la capa productiva del recurso suelo.

MAPA DE PROFUNDIDAD DE SUELOS

4. 1.3 VARIABILIDAD DE PRECIPITACIONES EN LOS ANDES ECUATORIANOS

Establecida la relación entre profundidad y tasas de erosión de suelo, hay que considerar la variabilidad de las precipitaciones que pueden modificar esta relación sin que el ser humano pueda intervenir.

La precipitación corresponden a una fase del ciclo hidrológico, en el cual las aguas se descargan sobre la superficie terrestre, dicho de otra forma son el componente del balance hídrico las cuales constituyen el factor condicionante de los regímenes hidrológicos (Pourrut, 1986). Las precipitaciones constituyen un elemento fundamental dentro del ciclo de vida que se da sobre superficie terrestre, sin embargo en el Ecuador las lluvias juegan un papel preponderante en la conservación o degradación de los suelos.

Pourrut en su artículo denominado “Papel de las precipitaciones en la degradación de los suelos. Impacto de las lluvias excepcionales del periodo 1982 – 1983” las lluvias juegan un papel importante en la erosión los suelos recalca que; *“no solamente por el efecto destructivo propio de cada evento pluviométrico, sino también porque, en gran parte, el régimen anual y distribución en el tiempo de las precipitaciones contribuyen a conformar el manto vegetal protector del suelo y condicionan la formación de las aguas superficiales y subterráneas”* (Pourrut, 1986, Pág. 26)

La variabilidad climática en el marco del proyecto “Causas, efectos y riesgos morfo-dinámicos asociados al cambio climático en Ecuador”, 2011 dirigido por S. Zavgorodniaya se enfoca específicamente sobre las precipitaciones. Tal es el caso de las vertientes occidentales que tienen suelos cultivados en un 27% de su superficie y donde la tendencia de las precipitaciones anuales occidentales demuestra el aumento de su cantidad desde el año 2002 en el rango de 1000 mm/ año a 1500 mm/ año. El incremento de los valores de precipitación aumenta la susceptibilidad a procesos erosivos en el ámbito de agricultura y los deslizamientos donde se realiza pastoreo (Zavgorodniaya y Enríquez, 2011).

Las vertientes orientales registran valores pluviométricos que llegan a 4000 - 4500 mm año con un incremento a partir del año 2003, se caracterizan por la presencia de mayores precipitaciones entre los meses de abril – agosto; y menores precipitaciones registradas en noviembre y enero - febrero. Además, la superficie agrícola es menor al

5% y con tasas de erosión relativamente bajas. Desde esta perspectiva se puede suponer que las vertientes orientales demuestran mejor estado de conservación que las vertientes occidentales.

Los contrafuertes subandinos son cadenas montañosas relativamente cortas y estrechas que se separan de una cadena mayor de los Andes, descienden a los 600 msnm en oriente y a 300 msnm en contrafuertes sur occidentales (Zavgorodniaya y Enríquez, 2011). La información meteorológica es escasa y limitada en estos paisajes y de acuerdo a la información cartográfica de agricultura hasta el año 2002 no se evidencia presencia de cultivos.

El Levantamiento Napo y Cordilleras Condor-Cutucu tienen el 6,7% de su área cubierta por cultivos de los cuales el 23% tiene una pérdida de suelo mayor a 87 mm/año. Los valores pluviométricos fluctúan en Archidona (Levantamiento Napo) fluctúan alrededor 3600 - 4400 mm año, en cambio en Gualaquiza (cordilleras Condor-Cutucú) son alrededor 1500 - 2000 mm/año, donde no se observa alguna tendencia de aumento o disminución entre los años 1992 - 2008, altos valores de las precipitaciones y la presencia de tierras cultivadas marca una ubicación espacial de áreas susceptibles a erosión de suelos.

En los Páramos (occidentales y orientales) los valores de las precipitaciones anuales en los Páramos orientales no tienen datos consistentes, pero comparando con los Páramos occidentales muestran valores más bajos. Puede ser que debido a eso la agricultura en los Páramos occidentales posee una mayor extensión de cultivos correspondiente al 23% mientras que en los Páramos orientales contienen al menos un 10% de suelos cultivados.

En el piedemonte periandino las lluvias se presentan todos los meses (entre 200-700 mm/mes), pero en las estaciones Sangay y Puyo se puede resaltar los meses más lluviosos alrededor de abril y mayo y en la temporada octubre - diciembre, posiblemente como respuesta al fenómeno de los equinoccios. El norte de la unidad paisajística es significativamente más lluvioso.

Las Cuencas interandinas son las que demandan mayor interés y más preocupación, por la simple razón de ser estas unidades las más pobladas e intensivamente aprovechadas para las actividades agrícolas, ganaderas y otras, relacionadas con el manejo de las tierras y el aprovechamiento de sus recursos.

Referente a la variabilidad de las precipitaciones en estas unidades paisajísticas, en general se observa una ciclicidad alrededor de cinco años. En cada ciclo las precipitaciones periódicamente suben y bajan, y esta variabilidad es alrededor de 500 mm al año, siendo así cabe mencionar que esta variabilidad afecta directamente la productividad y la producción, especialmente los cultivos como maíz

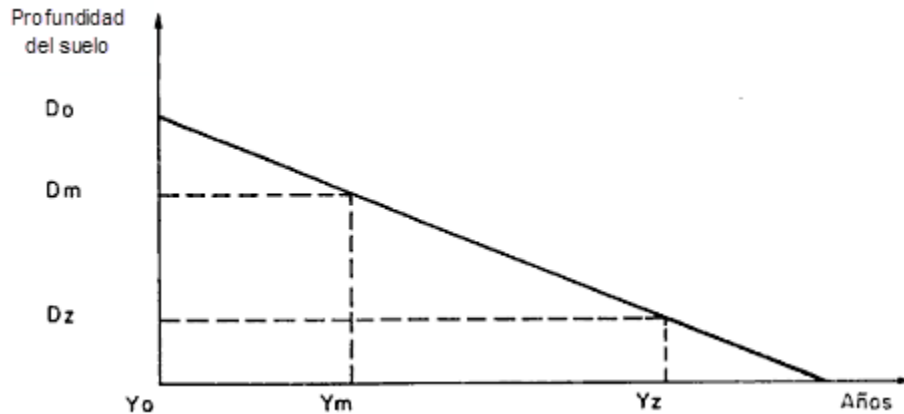
En la cuenca interandina de Nabón, es uno de los lugares donde los dos ciclos tienen presencia, pero los ciclos lluviosos están recortados a 1 - 2 meses, y las precipitaciones son acentuadas, en los meses restantes hay disminución de lluvias y las precipitaciones bajan a 10 - 20 mm al mes. Los meses con precipitaciones se presentan en diferentes meses en diferentes años. En esta cuenca se evidencian áreas que se han erosionado por completo los suelos no solo por factores antrópicos sino también por la variación de intensidad de las lluvias y temperaturas.

No es necesario esperar 10 o 20 años para evidenciar esta situación, en la actualidad a lo largo del área de estudio con las observaciones de campo se pudo constatar el estado real de los suelos. Siendo así, los estudios a nivel local arrojarían resultados necesarios para la planificación de los recursos naturales, en particular los no renovables.

4. 1.4 EROSIÓN Y PRODUCCIÓN

Las tasas de erosión y profundidad de los suelos son dos variables cuya relación permite dar una visión general del estado crítico del recurso suelo en las tierras cultivadas. El diagrama siguiente presenta la relación entre la profundidad del suelo, la erosión y la productividad de los suelos (FAO,1990).

Figura 8. Disminución de la profundidad del suelo a lo largo del tiempo como resultado de la erosión

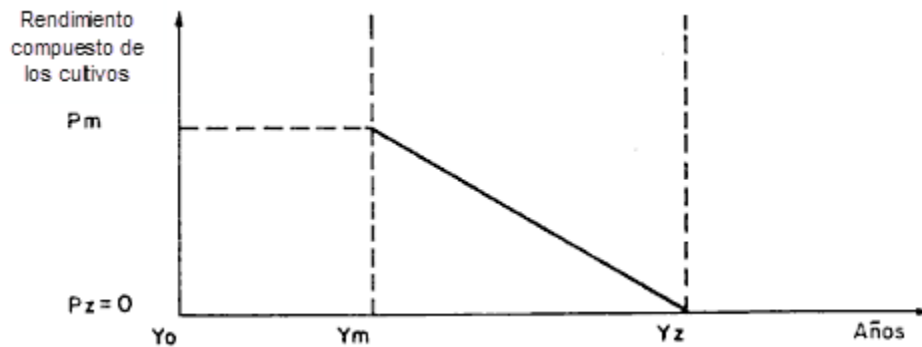


Fuente: FAO, 1990, Pág. 10

El diagrama en la Figura 8 muestra la pérdida de la profundidad del suelo en base a los años (Y_o) a partir de su estado original no cultivado (D_o). El gráfico demuestra que los suelos de mayor profundidad y los suelos no cultivados (en condiciones propiamente naturales) con el paso de los años sufren de una u otra forma un desgaste. Con mayor razón los suelos con profundidades medias (D_m) o bajas (D_z), son inestables y mayormente vulnerables a procesos de erosión generando una disminución de la capa arable influyendo en pérdida de la productividad de los suelos a mayor velocidad.

Por otro lado, encontramos los rendimientos de la producción agrícola en suelos y la reducción de la producción de P_m (nivel medio de producción en suelos característicos de tierras altas) se mantiene cierto tiempo, mientras las características del sustrato se mantiene y son capaces de sostener el tipo de producción al que esté sometido. Una vez que el suelo pierde sus condiciones naturales evidentemente su rendimiento disminuye en un cierto periodo de años. En general esto sucede a lo largo de los Andes ecuatorianos.

Figura 9. Evolución de la producción de los cultivos a lo largo del tiempo como resultado de la erosión



Fuente: FAO,1990

Siendo así la situación, el tiempo de productividad que poseen los suelos en un periodo es de vital importancia conocer cómo se da este proceso de disminución de productividad de los suelos llegando a un punto de degradación o cambio de sus propiedades a condiciones inferiores de las originales. Según documentos de la FAO las tierras agrícolas pierden su productividad esencialmente por cuatro razones (Prado y Veiga, 1994):

1. Degradación de la estructura del suelo
2. Disminución de la materia orgánica
3. Pérdida del suelo
4. Pérdida de nutrientes

La degradación del suelo se produce por varias razones pero en particular se puede decir que es el factor antrópico el causante de la aceleración de los procesos de erosión. El documento de la FAO “Erosión y pérdida de fertilidad del suelo” menciona las etapas de esta degradación que se ilustra a continuación (Do Prado y Da Veiga, 1994):

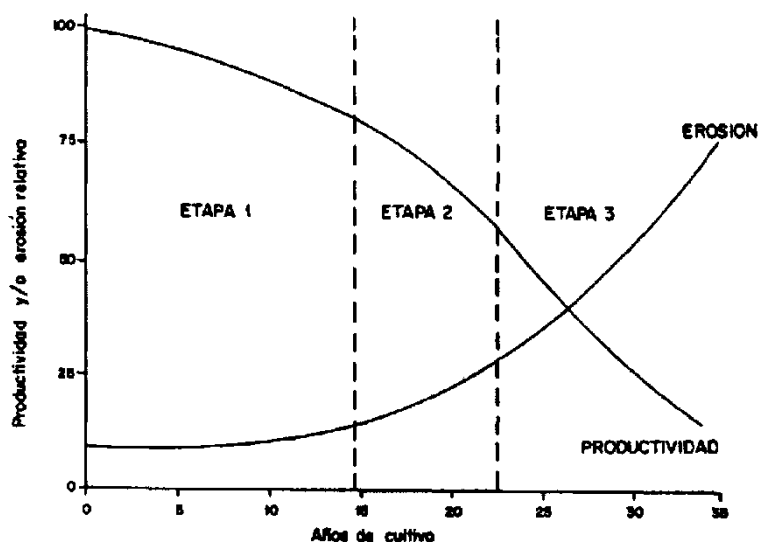
En la *etapa I* la materia orgánica y su estructura se destruyen gradualmente, la erosión es poco perceptible para los campesinos por sus niveles tolerables, la aplicación de fertilizantes ayuda para enmendar las afectaciones de la capa arable.

Etapa II la estructura del suelo se pierde y el porcentaje de materia orgánica disminuye poco a poco, se produce una compactación de los suelos impidiendo la infiltración del agua y por ende de las raíces de los cultivos. Los fertilizantes son menos eficaces ya sea por las condiciones físicas o por las pérdidas de grandes cantidades de suelos que se han

producido anteriormente. Finalmente la erosión se acelera y los rendimientos de los cultivos es cada vez menor.

La *Etapa III* los procesos de erosión son más agresivos, la tierras prácticamente son improductivas y se evidencia la presencia de surco y cárcavas, la aplicación de enmiendas como los fertilizantes ya no surge resultados. Por lo general el trabajador de o agricultor en esta etapa abandona las tierras.

Figura 10: Etapas de degradación del suelo bajo la explotación agrícola inadecuada



Fuente: Do Prado y Da Veiga. (1994) Elaborado por: Mielniczuk y Schneider (1984)

La siguiente fotografía (Ver foto 7.) fue tomada en las observaciones de campo, representa claramente las tres etapas de degradación del suelo bajo la explotación agrícola inadecuada.



Foto 7. Suelo con diferentes etapas de degradación.
Lugar: Entrada al Parque Recreacional El Boliche
Tomada por: Autores. Junio 2011

De acuerdo a la ilustración los primeros diez años la productividad de los suelos se mantiene inicialmente pero al final de la década ésta comienza a descender, en el estudio alrededor del 25% de los suelos agrícolas se perderían en 10 años, es decir que la cuarta parte de los suelos del área de estudio.

La sensibilidad de pérdida de suelo, se realiza una relación entre la profundidad de los suelos (cm) y las tasas de erosión (mm/año), en medida de los años. La relación se puede representar con la siguiente fórmula:

$$\text{Sensibilidad productiva de suelos} = \frac{\text{profundidad (cm)}}{\text{tasas de erosión } \left(\frac{\text{cm}}{\text{año}}\right)}$$

La fórmula mencionada debe ser aplicada espacialmente para lo cual se realizó un cruce de variables como; la profundidad de los suelos y tasas de erosión y la aplicación de herramientas de geoprocésamiento. Los métodos de sobre posición cartográfica de la información conocido como *unión* permitirá realizar las operaciones lógicas con la información cartográfica necesarias para determinar la sensibilidad de pérdida de suelos. Para realizar el análisis correspondiente se ha realizado la siguiente tabla, donde se aplica la fórmula anterior y se realiza el cruce de las variables;

Tabla 17. Clases y valores de sensibilidad productiva de suelos

Tabla. Clases y valores de sensibilidad productiva de suelos			TASAS DE EROSIÓN (mm/año)					
			Clase 0	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4	Clase 5
			1	2,4	3,5	5,6	7,6	8,7
PROFUNDIDAD	Menor 50 cm	30	30	12,5	8,6	5,4	3,9	3,4
	50,1-100 cm	75	75	31,3	21,4	13,4	9,9	8,6
	Mas 100 cm	100	100	41,7	28,6	17,9	13,2	11,5
	No Aplicable	0	0	0	0	0	0	0

Elaborado por: Autores

Se determinan 3 rangos de sensibilidad de pérdida de suelos en función del tiempo, es decir el número de años que durará la capa productiva de los suelos. Dicho en otras

palabras definen los suelos con mayor, mediana y menor sensibilidad a su pérdida en cierto periodo de tiempo.

Tabla 18. Clases de sensibilidad productiva de suelos

Clases de sensibilidad por pérdida de suelos	Años
Mayor sensibilidad	<10 años
Mediana sensibilidad	11-20 años
Menor sensibilidad	> 20 años

Elaborado por: Autores

Por lo tanto la sensibilidad de pérdida de suelos, es básicamente la relación existente entre la profundidad y valores de tasas de erosión, sin embargo, las prácticas antrópicas, la variabilidad climática pasan a ser agravantes del estado de los suelos.

El mapa de sensibilidad productiva de suelos en función de erosión, se obtiene los siguientes resultados (ver Mapa 10, utilizar la transparencia de la división política administrativa del Ecuador en formato A3):

MAPA DE SENSIBILIDAD PRODUCTIVA DE LOS SUELOS

Desde la frontera Colombiana hasta aproximadamente 2°30' S

En esta subregión existe predominio de suelos ubicados en el rango de menor sensibilidad, particularmente se destacan los suelos localizados en las cuencas interandinas. Los suelos de esta subregión son muy diferenciados desde humíferos hasta ligeramente humíferos con texturas variables, como andosoles y algunas veces mollisoles y aluviales (Zavgorodniaya y Tapia, 2011). Estos suelos contienen elevados porcentajes de materia orgánica donde la agricultura se ha convertido en el principal rubro económico de la población rural, sin dejar de mencionar que son quienes abastecen de productos a las poblaciones circundantes. Conociendo que en las cuencas interandinas por sus condiciones naturales se han establecido la mayor concentración de población y se han localizado las principales ciudades del Ecuador como son (de Norte a Sur) Ibarra, Quito, Latacunga, Ambato y Riobamba. A pesar que han disminuido los suelos con el potencial productivo para los agricultores siguen siendo estos los mejores suelos desde el punto de su sostenibilidad económica.

Por otro lado, las áreas de mediana sensibilidad presentan una distribución dispersa ubicadas mayoritariamente hacia las vertientes exteriores occidentales, donde se destacan los centros pertenecientes a la provincia de Santo Domingo, particularmente alrededor de los centros poblados de Alluriquin, Luz de América y las Pampas. En las provincias de Carchi e Imbabura, se observan mayor superficie de suelos medianamente sensibles alrededor de Tulcan, Mira y Bolívar, centros poblados ubicados en las cuencas interandinas. La erosión ha llegado a afectar intensamente la capa productiva y los remedios para enmendar esta situación son menos eficaces. Por otro lado en las provincias de Bolívar, en las proximidades a Guaranda, Chimbo y San Miguel de igual manera se observan grandes extensiones de suelos con una sensibilidad productiva que va de 10 a 20 años aproximadamente. Además, este escenario se puede observar también en el cantón Alausi de la provincia de Chimborazo cercanos a Simbambe, Guasuntos y Pistishi.

Finalmente las áreas de mayor sensibilidad donde: el monocultivo, la dependencia total de insumos externos, cambios acelerados en los sistemas de producción de cultivos, intercambio de policultivos por monocultivos, reducción de las especies de cultivos aptas y la falta incesante de políticas para la conservación del recurso suelo son

agravantes de la situación de estos suelos. Se presenta aparentemente en las áreas donde existe cambio en las formas del relieve, o de otra forma decirlo en las áreas de contacto donde las pendientes juegan un papel estratégico para evidenciar estos resultados. Principalmente estos escenarios en base al mapa elaborado, los suelos de mayor sensibilidad productiva por erosión con grandes extensiones se presenta en los cantones de Cotacachi de la provincia Imbabura alrededor de los centros poblados García Moreno, Vacas Galindo, Apuela y Peñaherrera. También se observa suelos con estas características en el cantón Pimampiro en la provincia de Imbabura alrededor de los centros poblados de Chugá y Mariano Acosta. En el área que comprende Otavalo, Cayambe y Pedro Moncayo denotan superficies extensas de suelos que productivamente se perderán en un tiempo menor a 10 años. Sin embargo el cantón El Chaco de la provincia de Napo presenta una franja extensa correspondiente a tierras agrícolas de mayor sensibilidad productiva, específicamente los sectores de Gonzalo Días de Pineda, Santa Rosa, Linares y Sardinas y San Francisco de Borja perteneciente al cantón Quijos. Se destaca también el área comprendida entre los cantones de Baños (Tungurahua), Mera, Puyo de la provincia Pastaza y Palora de Morona Santiago donde se forma una franja a lo largo de la frontera de los cuatro cantones, otra distribución se presenta en las vertientes occidentales donde el fenómeno abarca los cantones de Echandia, Caluma, Chimbo, San Miguel y Chillanes donde se presentan superficies de suelos mayormente sensibles aproximadamente un 30% del cantón.

Estas áreas corresponden a suelos cuya pérdida se ve acelerada, los años son un período referencial que muestran un escenario del estado de estos suelos, en este punto las observaciones en campo muestran la realidad. Por ejemplo una secuencia de las fotografías del proceso erosivo en diferentes sectores tomadas en el levantamiento de campo realizado en el norte del área de estudio (Ver foto 9,10 y 11).



Foto 8. Cultivos en la pendiente
Lugar: Vía hacia Huaca, Provincia del Carchi
Tomada por: Autores. Agosto 2011



Foto 9. Suelos blanquecinos, evidencia del proceso erosivo latente
Lugar: Alrededores de Huaca, Provincia del Carchi
Tomada por: Autores. Agosto 2011

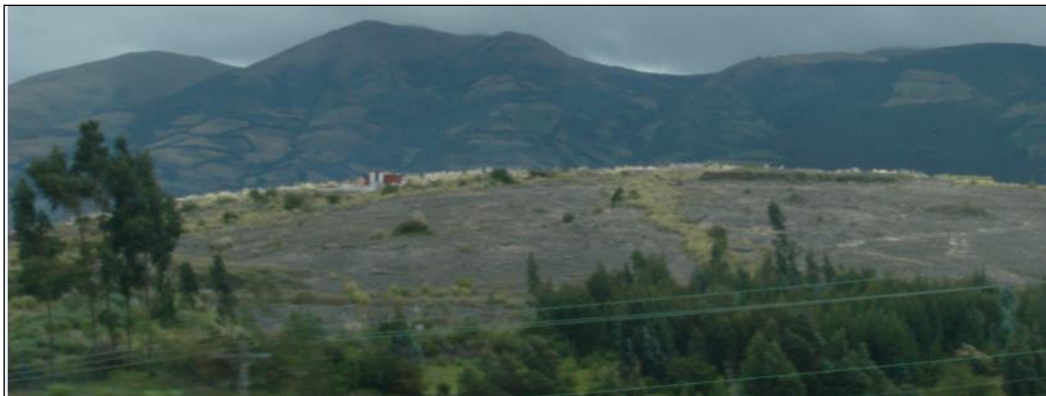


Foto 10. Parches con pérdida total del suelo
Lugar: Entrada a Tulcán, Provincia del Carchi
Tomada por: Autores. Agosto 2011
Quito - Tulcán

De 2°30'S a 3°40' S

En la subregión central se destacan dos áreas particulares que corresponde a la cuencas interandina de Cuenca y Girón-Nabón .

Los suelos con mayor susceptibilidad productiva relacionada con la erosión se presentan predominantemente en el cantón Cuenca alrededor de la cabecera cantonal, también una porción del territorio del cantón Deleg y Paute. Entre los cantones Paute y Guachapala se presentan una superficie de forma alargada hacia el norte hasta llegar al sector de Amaluza corresponde a suelos cuya productividad se ve limitada a menos de 10 años y similar situación sucede hacia el Sur desde el cantón Gualaceo hasta Sigsig atravesando el cantón de Chordeleg de la provincia de Azuay.

En la cuenca del río Paute en el año 1987 del Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) los informes de las consultorias determinan la tasas erosión/sedimentación en la Cuenca del Río Paute a fin de precisar la vida útil del embalse de la presa Amaluza y proponer las medidas necesarias para prolongar el periodo del funcionamiento del proyecto hidroeléctrico. Determinando los sectores más críticos con las tasas de erosión llegan hasta con 31210 t/km²/año en la Subcuenca de Jadan. Mientras que de acuerdo al mapa de tasas de erosión de los Andes Ecuatorianos en Paute se presentan valores de pérdida de suelos de 32 a 149 mm/año en particular alrededor del centro poblado.

En los centros poblados de Pucará de la provincia de Azuay y al norte de Zaruma en la provincia de Loja se puede evidenciar claramente el fenómeno erosivo que afecta a los suelos disminuyendo su capacidad productiva en términos de años productivos. Las observaciones de campo permitieron afirmar los resultados presentados en el mapa donde se pudo evidenciar la situación alarmante del cantón Nabón con áreas donde prácticamente ya no existen tierras agrícolas y los que todavía quedan son poco productivas. El cantón Nabon aproximadamente el 40% de su superficie tiene suelos con una sensibilidad productiva mayor, es decir tierras agrícolas que en menos de 10 años se perderá por completo su productividad, este escenario se presenta alrededor de la cabecera cantonal. A continuación se presenta la fotografía tomada en los trabajos de campo realizados;



Foto 12. Suelos degradados por completo en el cantón Nabón
Alrededor de la cabecera cantonal de Nabón, Provincia de Azuay
Tomada por: Autores. Agosto 2011

En el cantón El Pangui de la provincia de Zamora Chinchipe las tierras agrícolas con mayor sensibilidad productiva tiene un distribución y a lo largo de los límites entre los cantones Gualquiza (Morona Santiago) y Yantzaza (Zamora Chinchipe) .

Los suelos de mediana sensibilidad también se presentan en esta área en mayor proporción entre los cantones de Santa Isabel, Giron y Nabón, específicamente en los alrededores del centro poblado Santa Isabel. Hacia el oriente el área comprendida entre los cantones Santiago, Limón Indaza y San Juan Bosco se forma una franja de gran extensión con suelos cuya productividad se ve limitada entre 10 20 años. En menor proporción se encuentran los suelos de menor sensibilidad productiva pues se encuentran dispersos en toda el área..

Hacia el Sur de los 3°40' S

Hacia la subregión sur, en las provincias de Loja y Zamora Chinchipe las condiciones naturales cambian los procesos de erosión de suelos se presentan más extensivamente, estos procesos son agravados por el sobre pastoreo (Zavgorodniaya y Tapia, 2001).

Al suroccidente en la provincia de Loja, aproximadamente el 50% de la superficie del cantón Pindal y un 45% del cantón Celica se resaltan suelos con mayor sensibilidad de pérdida de productividad los cuales pertenecen a tierras con cultivos de ciclo corto. También en los cantones Gonzanamá, Calvas y Paltas de la provincia de Loja

evidencian en menor superficie suelos con tiempo de vida productiva menor a 10 años a causa de los procesos erosivos.

En menor parte se encuentran los suelos de mediana sensibilidad productiva, están dispersos en toda el área de la Sierra Sur particularmente presentes alrededor de los centros poblados Celica, Macará, Paltas, Catamayo, Loja, Nangaritza y Centinela del Condór. Los suelos de menor sensibilidad son presentes en mayor proporción en el cantón Puyango de la provincia de Loja y el cantón Piñas de la provincia del Oro, y de forma dispersa en los sectores de Santa Rosa, Paltas, Calvas, Nangaritza y Centinela del Cóndor.

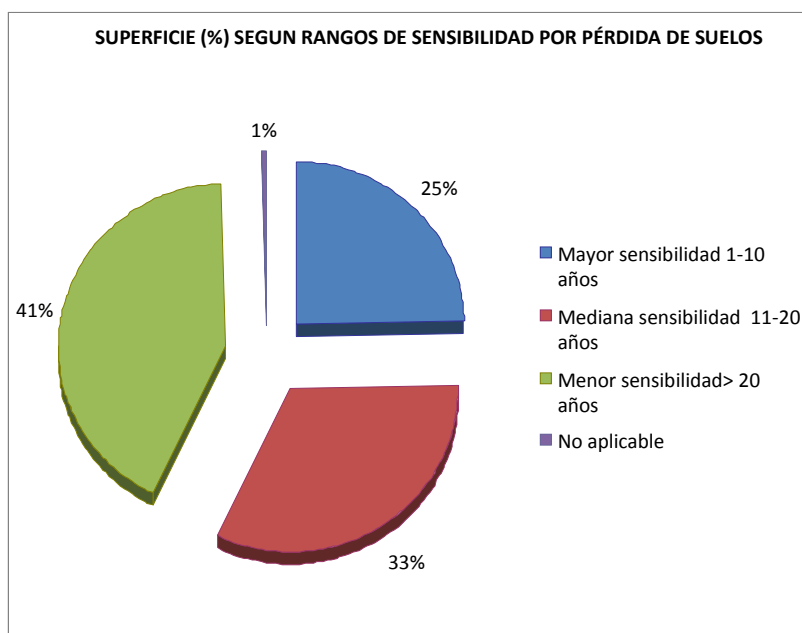
A pesar de los resultados presentados, existen áreas donde la situación es diferente y la población procura cuidar sus tierras para no perder la productividad, por ejemplo; en la frontera con Perú, en el valle del río Macará se observan cultivos de arroz con una adecuada estructura de terraceo y regadío para el óptimo aprovechamiento del recurso suelo como se puede ver a continuación:



Foto 13. Práctica de terraceo en cultivos de arroz
Tomada por: Autores. Junio 2011
Valle del río Macará

Finalmente, podemos notar la situación alarmante del recurso suelo en los Andes ecuatorianos, los valores se evidencian en el siguiente gráfico:

Gráfico 4. Superficie de suelos según rangos de sensibilidad productiva por pérdida de suelos



Elaborado por: Autores

De acuerdo al análisis realizado se observa la situación más crítica corresponde a suelos cuya duración es mayor a 10 años con una superficie de 25%, un 33% de la superficie con suelos con un tiempo de vida de 11 a 20 años que corresponde a una mediana sensibilidad. Existe una mayor extensión de suelos con una menor sensibilidad a su pérdida, corresponde al 41% de la superficie estos son suelos cuyos valores de tasas de erosión son bajos y que se ven favorecidos por el espesor.

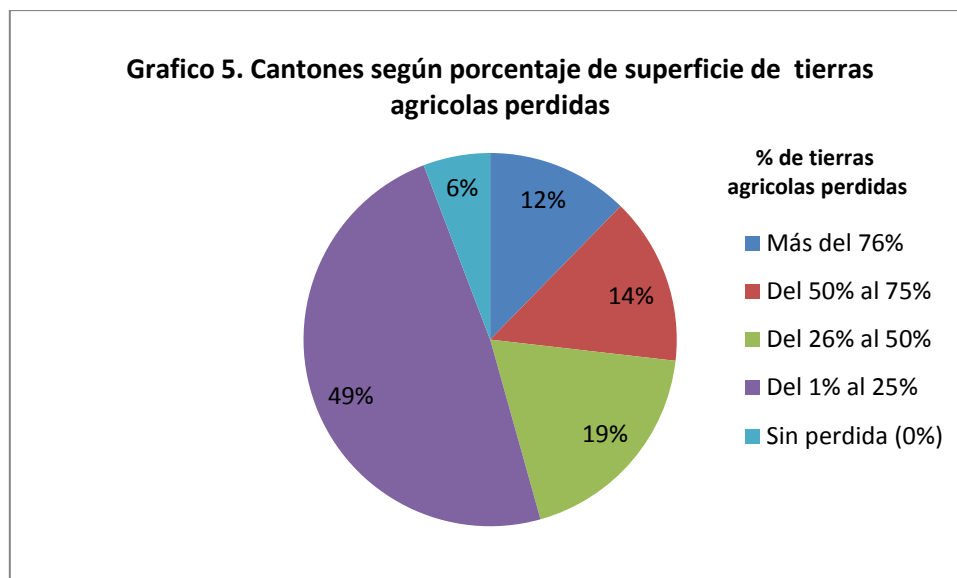
Corresponde a suelos con grandes potenciales productivos bajo condiciones adecuadas de uso. Sin embargo, la realidad es otra, son suelos cultivados de gran sensibilidad a su pérdida de productividad tomando en cuenta la profundidad y sus valores de tasas de erosión. Si a esta situación se le añade la presión de la población por obtener un mejor rendimiento de su producción, los cambios climáticos con el aumento de las lluvias, la subutilización o sobreutilización de los recursos, y otros factores las condiciones pueden ser catastróficas.

4.1.5 PÉRDIDA DE PRODUCTIVIDAD DE TIERRAS AGRÍCOLAS

La pérdida de productividad de tierras agrícolas se ha definido en base a la información de sensibilidad productiva de los suelos por erosión, es decir que esta información se refiere básicamente al porcentaje de suelos con características de mayor sensibilidad de pérdida productiva o en otras palabras se trata de suelos cuya pérdida de productividad es de menos de 10 años. Cabe mencionar que los valores que se presenta referente a pérdida de tierras agrícolas se trabajó en función de la cartografía de uso de suelo disponible mencionada anteriormente (Ver tabla 6) y se conoce que el año de levantamiento de la información de las imágenes satelitales de LANDSAT TM 1998-2000 pero no se conoce si corresponden a la época seca o lluviosa del año, por lo tanto se desconoce el porcentaje de cultivos en descanso o en barbecho, información indispensable para obtener resultados aproximados a la realidad.

Este dato se obtiene para cada uno de los cantones que se encuentran dentro del área de estudio, y utilizando herramientas de geo procesamiento se determina la superficie de tierras agrícolas que se han perdido en 10 años. El análisis se hace en función del cálculo de porcentajes, para así ver como la superficie de tierras agrícolas ha variado en 10 años, esta variación en cuanto a la pérdida. Además, es indispensable mencionar que el estudio de la pérdida de las tierras agrícolas según la información cartográfica con la cual se trabajó, mas no se toma en cuenta como ha incrementado esta superficie en los 10 años debido a la falta de actualización de información cartográfica referente a uso de suelo.

Partiendo de este enunciado y en función de los datos procesados se ha elaborado una tabla (Ver Tabla 19) que servirá para realizar el análisis correspondiente.



Elaborado por: Autores

De los 140 cantones contemplados en el área de estudio 15 son los cantones donde se ha perdido más del 75% de las tierras agrícolas, de estos cuatro pertenecen a la provincia de Loja, estos son Quilanga con un 100%, Pindal 90%, Gonzanama 81% y Espindola el 77%. Se observa que Loja es la provincia más afectada por los procesos erosivos por ejemplo el caso del cantón Pindal que para el año 2002 tenía una superficie de 13077 ha de cultivos y después de 10 años lo que queda de áreas de cultivos es 1350 ha, evidentemente son cifras alarmantes pero permiten determinar las áreas más vulnerables a problemas de seguridad alimentaria.

Por otro lado el 14% de los cantones del área de estudio tienen pérdidas del 51 al 75%, de estos el caso más representativo es el de Morona donde en diez años pierde aproximadamente 10138 ha de suelos con uso agrícola. De este rango Cuenca es el cantón con mayor extensión agrícola (59692 ha) pierde el 59% de dichas tierras, más de la mitad de sus tierras pierden su capa productiva por los procesos erosivos. Dentro de este rango Cañar y Azuay son las provincias con mayor cantidad de cantones que sufren el desgaste de sus suelos, en Cañar; La Troncal, Deleg y Azogues mientras que en Azuay los cantones Guachapala, El Pan, Cuenca y Chordeleg. Sin embargo, en la provincia de Azuay, los cantones de Nabón, Pucará, Gualaceo, Camilo Ponce Enríquez, Sigsig, Sevilla de Oro y Giron han perdido entre el 25 y 50% de sus áreas para cultivos, denotando la gravedad de los suelos en esta provincia. El caso de Nabón es fundamental demostrar porque en 10 años ha disminuido 14000 hectáreas de tierras agrícolas

puediendo generar que la población se vea en la necesidad de cambiar sus actividades económicas.

Dentro del área de estudio el 49% de los cantones disminuyen su superficie de tierras agrícola hasta un 25% resaltando los casos de San Miguel, Cayambe, Paltas y Chambo. También existen casos en donde las pérdidas son menores, es decir hasta el 3%, tal es la situación de algunos cantones como Olmedo, Mejía, Patate, San Miguel de los Bancos, Rumiñahui, Ambato, Latacunga. Además, los cantones como Latacunga, Guano, Ambato, Sigchis y Limón Indaza tienen grandes extensiones de tierras agrícolas con relación a otros usos dentro del cantón.

Finalmente, existen también cantones donde no existe una pérdida, presentan porcentajes del 0% como el caso de Mocha, Nangaritza, Balsas, Penipe, San Pedro de Huaca, Tisaleo, Quero y Cevallos correspondiente al 6% de la superficie del área de estudio. Esta situación tal vez se presente por un uso adecuado del suelo o por un impacto mínimo de las actividades agrícola, pero este argumento no se puede afirmar si no se trabaja a una mayor escala.

A manera de conclusión, los resultados que se han obtenido tras el procesamiento de la información y demuestran la gravedad de la situación de los suelos de los Andes Ecuatorianos respecto a sus tierras cultivadas, en la mayor parte de los cantones existe disminución de las superficies de uso agrícola. Estos resultados permiten conocer las áreas de mayor afectación por procesos erosivos y donde debería actuarse de manera inmediata para que estos panoramas no se incrementen y no se conviertan en paisajes desérticos y posteriormente tierras abandonadas.

El recurso suelo de estas área requiere de un uso y manejo adecuado es por esta razón que es importante identificar estas área y así poder comprender como el ser humano debe actuar frente a estas situaciones puesto que cada porción de la superficie terrestre tiene sus propias características y no todas las medidas son aplicables a nivel general. Es por esta razón que en el siguiente capítulo vemos necesario proponer una estrategia donde el recurso suelo sea manejado entendiendo la relación ser humano (Población)-naturaleza (Recurso).

A continuación se muestran la situación de las tierras agrícolas para el año 2002, diez años después y 20 años más tarde y se presentan tres cantones a manera de modelos proyectados; Pimampiro de la Sierra Norte, Nabón en Sierra Centro y Celica en Sierra Sur.

ESCENARIOS DE PÉRDIDA DE TIERRAS AGRÍCOLAS

4.2. CARACTERIZACIÓN SOCIAL DE LOS ANDES ECUATORIANOS

4.2.1 LA POBLACIÓN Y TASAS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL

“La erosión de los suelos en el Ecuador puede ser considerada más como un hecho de civilización que como un fenómeno natural”(De Noni, Viennot, Trujillo, 1986, 137). Ver Foto 7.



Foto 13. Indígena en labores agrícolas

Lugar: Cantón Pimampiro, Provincia de Imbabura

Tomada por: Autores. Agosto 2011

Uno de los hechos históricos que marca notablemente la distribución de la población en el Ecuador es la explosión demográfica de los años 50, donde la población se multiplica por diez y sobrepasa los 10'000.000 de habitantes, dando como resultado la redistribución espacial de la población rural y la extensión de la frontera agrícola hacia condiciones biofísicas extremas, lo cual repercute como una pérdida de valorización de la naturaleza por parte del ser humano (De Noni, Viennot, Trujillo, 1986).

De acuerdo al Atlas geográfico de la República del Ecuador establece que el territorio ecuatoriano tiene una superficie de 256.370 km² y que sobre cada uno de ellos se asientan en promedio, alrededor de 50 habitantes, esto proporciona una idea general sobre la relación que existe entre el ser humano y su entorno biofísico (IGM, 2010).

Otro dato para comprender el factor social es que de 906 localidades de menos de 10.000 habitantes según el censo de 2001, más del 53% se encuentran dentro de la región de estudio, teniendo en cuenta que dicha región en base al cálculo realizado del área de estudio comprende el 46% de superficie del total del territorio nacional lo cual denota la presión demográfica sobre los recursos naturales. Esto ocurre por la concentración de la población en las ciudades que se han convertido en polos de atracción por distintas actividades, las cuales requieren satisfacer necesidades que la población requiere, como por ejemplo; la alimentación, vivienda, infraestructura, educación y salud, intensificando el uso de suelo para cubrir dichas necesidades. Se pone en evidencia que la población que se asienta sobre el territorio ecuatoriano principalmente sobre el área de estudio, necesita de una gran cantidad de insumos para satisfacer las distintas necesidades de la población; la cual ocupa el 46% del territorio nacional y alberga aproximadamente al 40% de la población del país.

El estudio se enmarca dentro de la perspectiva demográfica y analiza la variable de tasas de crecimiento, enfocándose en la división política del área de estudio y desde el nivel cantonal principalmente en los años 2001-2010, es decir como la dinámica poblacional y en especial las tasas de crecimiento impactan o no, sobre el medio en el que se desenvuelven particularmente en la disponibilidad de los recursos naturales para satisfacer a la población. Por otro lado, en el marco de la investigación se realiza un análisis de las tierras agrícolas perdidas por cantón en un periodo de 10 años de acuerdo a los resultados obtenidos en el mapa de sensibilidad productiva. Además, se realiza un análisis proyectado al año 2012 de la superficie restante de tierras agrícolas a nivel cantonal, lo cual permitirá conocer las áreas con mayor vulnerabilidad a erosión y donde se debe enfocar las estrategias de uso y conservación de suelo para con esto dar alternativas de sostenibilidad en el tiempo para los suelos.

Según los cantones analizados que se encuentran dentro del área de estudio cuenta con un población de 7558353 habitantes en los 140 cantones correspondiente al 52% de la población nacional.

Las tasas de crecimiento poblacional a nivel cantonal se convierte en un indicador fundamental para comprender el incremento de la población dentro del territorio del área de estudio, y con esta información conocer cuáles son los cantones con mayor y menor incremento poblacional y de esta manera poder determinar si existe una relación directa entre el crecimiento población, y si este actúa directamente sobre la pérdida de

los recursos naturales como el suelo, en particular con los suelos dedicados a las actividades agrícolas.

Con las razones expuestas anteriormente, a continuación se presenta un análisis desde la perspectiva social tomando en cuenta las tasas de crecimiento en los cantones del área de estudio y la superficie agrícola pérdida durante diez años, para finalmente enfocarse en la superficie agrícola restante por cantón y cómo esta situación repercute sobre la seguridad alimentaria.

Si bien la agricultura no es el uso que cubre en mayor porcentaje la superficie terrestre, es una de las principales actividades económicas de la población, el Censo de Población y Vivienda del 2001 establece que el 26,25% de población se dedica a actividades agrícolas, ganaderas, caza y silvicultura a nivel nacional. Sin embargo para el Censo de Población y Vivienda del 2010 establece que la población dedicada a estas actividades corresponde al 268.519 personas, es decir el 8,75% de la población del Ecuador, mientras que para en la Sierra la población que se dedica a las actividades agrícolas corresponde al 573.204 personas.

Estos indicadores da indicios del impacto que genera la población en los suelos desde el punto de vista económico, dicho en otras palabras se da más importancia de la mayor producción y rendimiento de los suelos que un adecuado manejo y prácticas conservadoras.

Conociendo estos antecedentes, en el estudio se ve la necesidad de comprender a la erosión desde el punto de vista social en función de las tasas de crecimiento poblacional, si estas repercuten de alguna manera sobre el territorio en que se asientan dentro del periodo de 2001-2010 tomando en cuenta la división política a nivel cantonal, donde 140 cantones se encuentran dentro del área de estudio, ver Mapa 12 (Utilizar la transparencia de la División Política Administrativa en formato A4 adjunta al documento).

MAPA DE TASAS DE CRECIMIENTO

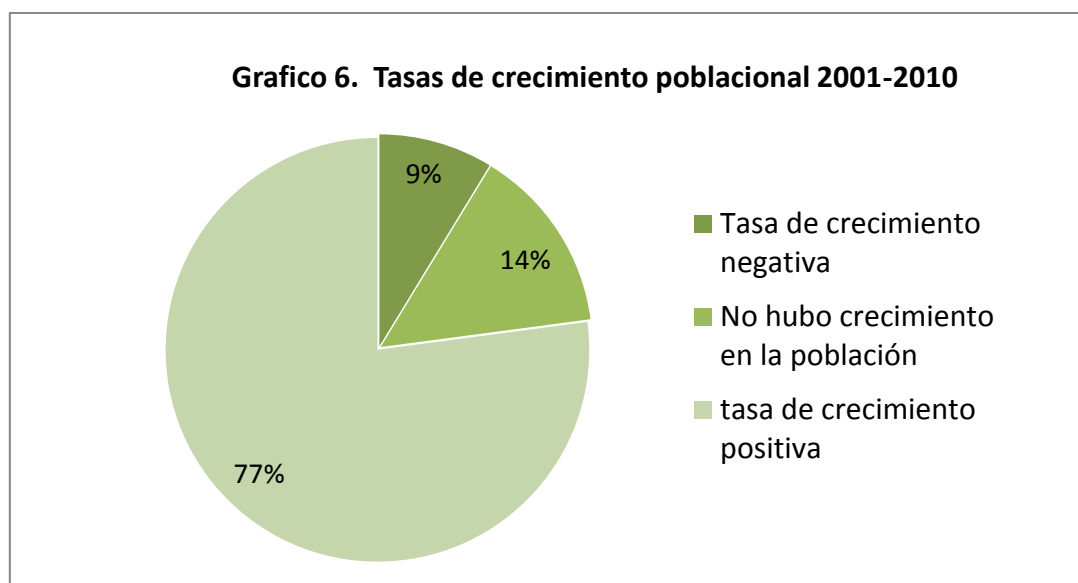
Las tasas de crecimiento demográfico indican el crecimiento o decrecimiento de la población en un periodo de tiempo, expresado en el porcentaje de individuos que existen en un país.

Para realizar el cálculo de tasas de crecimiento se utiliza la siguiente formula:

$$Tasa\ de\ crecimiento = \ln\left(\frac{CPV\ 2010}{CPV\ 2001}\right) \times \frac{1}{9} \times 100\%$$

CPV: Censo Poblacional de Vivienda

El siguiente gráfico representa a nivel general las tasas de crecimiento poblacionales 2001-2010 dentro del área de estudio, el cual indica que el 77% de los cantones ha tenido una tasa de crecimiento positiva, el 14% en cambio no hubo crecimiento poblacional y el 9% restante corresponde a tasas de crecimiento negativa o de otra manera decirlo un decrecimiento de la población.



Fuente: INEC, Censo 2001 y 2010

Elaborado por: Autores

Seguidamente se realiza un análisis del crecimiento y de crecimiento poblacional de los cantones del área de estudio con los siguientes resultados.

Los cantones con mayor crecimiento corresponden a Pablo Sexto perteneciente a la provincia de Morona Santiago, San Lorenzo y San Miguel de los Bancos de las provincias de Esmeraldas y Pichincha respectivamente con una tasa de **5%**.

Por otro lado con una tasa de 4% de crecimiento promedio en diez años corresponde a los cantones Mera, Quininde, Cumandá y Huamboya. Los cantones con un crecimiento positivo del 3% corresponden al 12% de la superficie del área de estudio entre los cuales se están; Archidona, Sucúa, El Chaco, Morona, Pastaza, El Triunfo, Yantzaza, Las Golondrinas, Naranjal, Pedro Moncayo, Santo Domingo, La Mana, Tena, Rumiñahui, Guamote, Mejía y Balsas. El 27% y el 31% de los cantones estudiados tienen tasas de crecimiento de 2% y 1% respectivamente. Al ser el porcentaje más representativo el de tasa de crecimiento positivo nos da una idea de que solo en diez años la población ha tenido un crecimiento notable y esto indica que esta nueva población requiere más recursos a parte de los recursos que ya necesita la población ya existente esto quiere decir que los territorios con incremento de población son polos de atracción por brindar un buen nivel de vida para un crecimiento natural de la población y además llaman la atención otras poblaciones por las actividades y la cantidad de recursos que poseen estos territorios.

Aproximadamente el 15% de los cantones que se encuentran dentro del área de estudio según los datos procesados no presentan ningún crecimiento poblacional entre los años 2001 al 2010, es decir tienen una tasa del 0%. Dichos cantones no son polos de atracción más bien solo se mantienen, no atraen pero tampoco expulsan población.

Sin embargo, según la información obtenida los resultados de mayor interés se refieren a los cantones donde se han presentado un decrecimiento de la población con tasas que van de -1% a -8%. Estos cantones son conocidos como expulsores de población, porque no presentan actividades económicas atractivas y sus recursos naturales y en especial de suelos son limitados.

Con una tasa de crecimiento negativa de -1% se encuentran los cantones Limón Indanza, Quilanga, Santiago, Mira, Espindola, Sozoranga, Chilla, Chillanes, Chaguarpamba y Centinela del cóndor, cabe mencionar que con estos resultados son producto de diversas razones entre las cuales están los movimientos migratorios. Olmedo y Gonzanamá tienen un decrecimiento poblacional de -2%, ambos cantones pertenecientes a la provincia de Loja. Además, con una tasa negativa de -8% corresponde al valor obtenido del cantón Pucara de la provincia de Azuay, el cual para el año 2001 con una población de 20.382 habitantes paso a tener en el 2010 una población de 10.052 habitantes denotando claramente una disminución en la población.

Finalmente, la información obtenida en el análisis demuestran que a nivel general la mayor parte de los cantones han tenido una tasa de crecimiento positivo en los últimos 10 años. Es por esta razón que es importante determinar si existe una relación entre el mayor crecimiento de población y el aumento en pérdida de las tierras agrícolas a nivel cantonal, lo cual se analizara a continuación.

4.2.2 LA RELACIÓN ENTRE TASAS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL Y PÉRDIDA DE TIERRAS AGRÍCOLAS

A lo largo de la historia ha existido la preocupación por la disminución de los recursos naturales causada por el crecimiento de la población. A medida que la población crece y se expande en un territorio implican un incremento de demanda de alimento y bienes materiales, es decir más recursos son necesarios y proceso de agotamiento de los recursos naturales se ve acelerado cada vez más.

Esta relación entre población y medio ambiente fue planteada en 1798 por Thomas Robert Malthus quien afirma que *“el crecimiento de la población humana siempre tiende a superar el de la capacidad de producción de recursos de la tierra (especialmente los alimentarios) ya que mientras la primera crece de forma geométrica, los segundos sólo lo hacen de forma aritmética”* (Alberich, 2011) la siguiente figura 12 explica el enunciado anterior;

Figura 12. Relación entre población y medio ambiente planteado por Malthus



Fuente: Alberich, 2011

Sin embargo, existen detractores de dicha teoría al ser elaborado antes de la revolución agrícola e industrial pues no toma en cuenta los cambios tecnológicos. Ester

Boserupaporta diciendo lo siguiente *“el crecimiento de la población y el consiguiente aumento de la densidad inducen los cambios tecnológicos, como por ejemplo, el uso de arados o de fertilizantes, que permiten restablecer el equilibrio entre la producción de alimentos y el crecimiento de la población”* (Alberich, 2011)

Partiendo de estas ideas a continuación se realiza un análisis para comprender si existe una relación entre el crecimiento de la población con la pérdida de recursos naturales, en este caso el de tierras agrícolas, este análisis se lo realiza a nivel del área de estudio y en función de los datos cuantitativos obtenidos de la información cartográfica y a un nivel político-administrativo cantonal.

En función de la Tabla 19. generada se ha ordenado de mayor a menor según los porcentajes de pérdida de suelos de uso agrícola en 10 años, donde los cantones que han perdido por completo sus tierras agrícolas debido a los procesos erosivos. son los cantones Pablo Sexto y Quilanga. Sin embargo, entre estos dos cantones demuestran dos escenarios puesto que Pablo Sexto evidencia un crecimiento del 5% y Quilanga un decrecimiento de -1% pero en ambos cantones se pierden por completo sus tierras agrícolas.

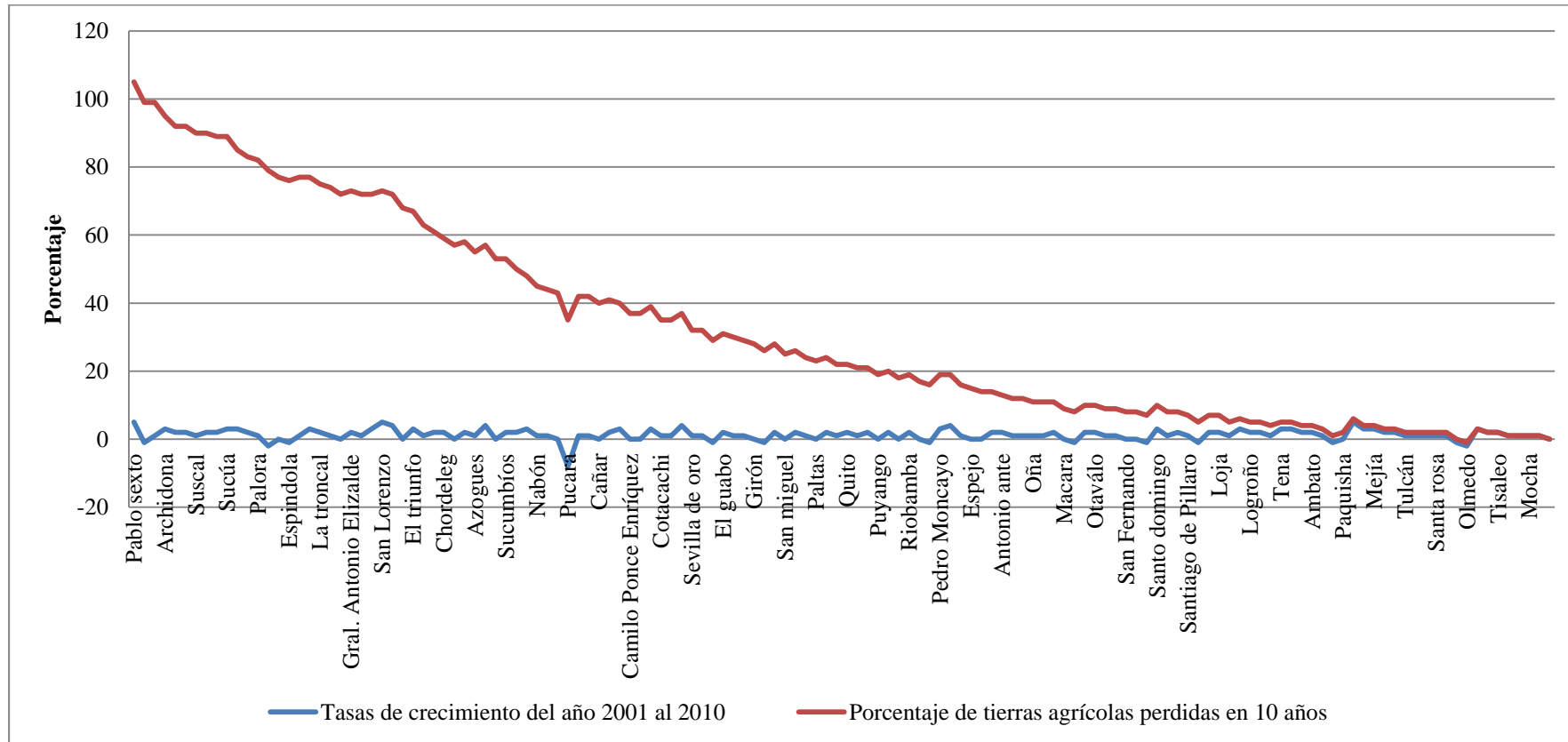
Entre el 90 y 98% de superficie agrícola pérdida se encuentran Quijos, Archidona, Las Navas y Pindal con tasas de crecimiento del 1 al 3% evidenciando de alguna manera que el incremento de la población es uno de los factores que incide en el desgaste del recurso suelo por la presión que se ejerce sobre estos.

En el cantón Pucará aproximadamente el 41% de las tierras agrícolas desaparecen por las condiciones a las que estos suelos se han sometido, sin embargo, en el cantón se ha presentado un fenómeno de de crecimiento poblacional del 8%. Penipe perteneciente a la provincia de Chimborazo en 10 años mantiene su superficie de tierras agrícolas en 3600 ha y por el lado de sus habitantes ha habido un estancamiento poblacional con una tasa del 0%.

En los casos de los cantones Pimampiro, Nabon y Celica donde se demostró gráficamente como es la pérdida de los suelos de uso agrícola, el comportamiento es el siguiente; Pimampiro pierde el 57% de sus tierras productivas pero su población sufre un estancamiento del 0%; Nabón en cambio incrementa su población un 1% y disminuye sus tierras agrícolas de 31716 a 17665 ha perdido un total de 14052 hectáreas en los 10 años; mientras que en Celica ubicado en la Sierra Sur crece su población el 1% pero pierde aproximadamente 16400 ha equivalentes al 71%.

A continuación en el gráfico 7 se muestra la relación de las tasas de crecimiento y los porcentajes de tierras agrícolas de algunos de los cantones del área de estudio, seguidamente se presenta la Tabla 19 con los datos obtenidos para toda el área de estudio.

Gráfico 7. Relación de las tasas de crecimiento poblacional y la pérdida de tierras agrícolas en 10 años



Elaborado por: Autores

Tabla 19. Tasas de crecimiento y tierras agrícolas perdidas en 10 años por cantón (1/5)

Provincia	Cantón	Superficie Agrícola (ha) 2002	Superficie Agrícola restante después de diez años (ha)	Superficie Agrícola pérdida en 10 años (ha)	Tasas de crecimiento del año 2001 al 2010(%)	Porcentaje de tierras agrícolas perdidas en 10 años
Morona Santiago	Pablo sexto	121,67		121,67	5	100
Loja	Quilanga	112,92		112,92	-1	100
Napo	Quijos	1.636,06	40,02	1596,04	1	98
Napo	Archidona	609,13	50,63	558,51	3	92
Bolívar	Las naves	373,49	38,46	335,03	2	90
Loja	Pindal	13.077,51	1349,59	11727,91	2	90
Cañar	Suscal	2.358,63	266,89	2091,73	1	89
Tungurahua	Baños de agua santa	11.156,86	1344,67	9812,19	2	88
Los Ríos	Montalvo	2.426,60	317,99	2108,61	2	87
Morona Santiago	Sucúa	2.687,27	369,55	2317,72	3	86
Napo	El chaco	21.167,37	3771,89	17395,47	3	82
Esmeraldas	Eloy Alfaro	1.865,10	347,65	1517,45	2	81
Morona Santiago	Palora	19.469,79	3723,87	15745,91	1	81
Loja	Gonzanama	7.302,46	1406,21	5896,25	-2	81
Cañar	Biblian	2.494,75	567,71	1927,05	0	77
Loja	Espindola	2.361,46	541,03	1820,44	-1	77
Azuay	Paute	15.085,40	3670,69	11414,71	1	76
Morona Santiago	Morona	13.631,37	3493,45	10137,93	3	74
Cañar	La troncal	474,82	127,04	347,78	2	73
Azuay	Guachapala	2.317,58	636,62	1680,96	1	73
Cañar	Deleg	5.078,19	1422,09	3656,1	0	72
Guayas	Gral. Antonio Elizalde	170,66	48,88	121,78	2	71
Loja	Celica	22.964,71	6567,32	16397,4	1	71
Pastaza	Pastaza	7.519,65	2301,46	5218,19	3	69
Esmeraldas	San Lorenzo	4.283,81	1357,44	2926,36	5	68
Pastaza	Mera	9.284,94	2926,36	6358,58	4	68
Azuay	El Pan	2.225,74	708,01	1517,73	0	68
Guayas	El triunfo	437,22	158,6	278,62	3	64
Zona no delimitada	El Piedrero	2.525,32	962,66	1562,66	1	62
Azuay	Cuenca	59.692,09	24751,66	34940,43	2	59

Tabla 19. Tasas de crecimiento y tierras agrícolas perdidas en 10 años por cantón (2/5)

Provincia	Cantón	Superficie Agrícola (ha) 2002	Superficie Agrícola restante después de diez años (ha)	Superficie Agrícola pérdida en 10 años (ha)	Tasas de crecimiento del año 2001 al 2010(%)	Porcentaje de tierras agrícolas perdidas en 10 años
Azuay	Chordeleg	1.632,63	705,51	927,12	2	57
Imbabura	Pimampiro	11.926,36	5105,86	6820,5	0	57
Zamora Chinchipe	El Pangui	22.197,04	9664,15	12532,89	2	56
Cañar	Azogues	17.355,92	7934,36	9421,57	1	54
Esmeraldas	Quininde	2.238,28	1043,5	1194,78	4	53
El oro	Zaruma	23.406,06	11020,75	12385,32	0	53
Sucumbíos	Sucumbíos	2.299,92	1135,77	1164,15	2	51
Guayas	Balao	1.448,01	746,71	701,31	2	48
Zamora Chinchipe	Yanzatza	19.072,85	10489,04	8583,82	3	45
Azuay	Nabón	31.716,89	17665,07	14051,83	1	44
Bolívar	Echeandia	14.695,35	8308	6387,35	1	43
Chimborazo	Colta	21.601,31	12313,13	9288,17	0	43
Azuay	Pucara	20.322,63	11509,74	8812,89	-8	43
Azuay	Gualaceo	10.850,27	6417,47	4432,8	1	41
El oro	Portovelo	2.372,47	1408,65	963,82	1	41
Cañar	Cañar	43.501,25	26289,61	17211,64	0	40
Bolívar	Caluma	11.011,51	6678,81	4332,7	2	39
Zona no delimitada	Las golondrinas	387,53	242,97	144,55	3	37
Azuay	Camilo Ponce Enríquez	2.237,52	1401,94	835,58	0	37
Loja	Calvas	10.580,67	6655,2	3925,47	0	37
Guayas	Naranjal	5.382,20	3422,63	1959,57	3	36
Imbabura	Cotacachi	43.287,49	28447,96	14839,53	1	34
Morona Santiago	Gualaquiza	57.281,31	37538,46	19742,85	1	34
Chimborazo	Cumanda	4.508,27	3021,66	1486,6	4	33
Azuay	Sevilla de oro	2.445,22	1680,62	764,6	1	31
Azuay	Sigsig	16.088,44	11026,51	5061,93	1	31
Bolívar	Chillanes	31.780,00	22390,51	9389,49	-1	30
El oro	El guabo	2.309,63	1631,35	678,28	2	29
Chimborazo	Pallatanga	6.434,28	4579,73	1854,54	1	29
Bolívar	Chimbo	20.717,75	14888,91	5828,84	1	28
Azuay	Girón	11.930,31	8577,83	3352,48	0	28

Tabla 19. Tasas de crecimiento y tierras agrícolas perdidas en 10 años por cantón (3/5)

Provincia	Cantón	Superficie Agrícola (ha) 2002	Superficie Agrícola restante después de diez años (ha)	Superficie Agrícola pérdida en 10 años (ha)	Tasas de crecimiento del año 2001 al 2010 (%)	Porcentaje de tierras agrícolas perdidas en 10 años
El oro	Chilla	5.890,90	4314,83	1576,07	-1	27
Zamora Chinchipe	Zamora	319,51	234,94	84,57	2	26
Bolívar	San miguel	31.927,55	24011,08	7916,47	0	25
Pichincha	Cayambe	25.420,06	19429,19	5990,87	2	24
Chimborazo	Chambo	3.806,47	2949,03	857,44	1	23
Loja	Paltas	16.948,58	13122,3	3826,28	0	23
Morona Santiago	San Juan Bosco	30.920,40	24061,29	6859,11	2	22
Carchi	Montufar	17.655,30	13964,73	3690,57	1	21
Pichincha	Quito	123.693,35	98600,59	25092,76	2	20
Bolívar	Guaranda	56.367,99	45314,48	11053,52	1	20
Napo	Carlos julio Arosemena tola	246,64	198,93	47,71	2	19
Loja	Puyango	36.127,02	29126,31	7000,71	0	19
Sucumbíos	Gonzalo Pizarro	1.070,81	881,78	189,03	2	18
Chimborazo	Alausí	42.234,30	34723,56	7510,74	0	18
Chimborazo	Riobamba	36.910,56	30477,86	6432,7	2	17
Carchi	Bolívar	18.962,96	15785,42	3177,54	0	17
Morona Santiago	Santiago	20.395,14	16845,57	3549,57	-1	17
Pichincha	Pedro Moncayo	23.553,08	19865,7	3687,38	3	16
Morona Santiago	Huamboya	1.737,14	1475,81	261,34	4	15
El oro	Atahualpa	10.029,12	8530,99	1498,13	1	15
Carchi	Espejo	9.640,20	8170,84	1469,36	0	15
Azuay	Santa Isabel	31.820,59	27348,22	4472,37	0	14
El oro	Pasaje	5.645,58	4949,92	695,66	2	12
Imbabura	Antonio ante	7.036,88	6276,3	760,58	2	11
Cotopaxi	Pangua	20.002,38	17834,28	2168,1	1	11
Imbabura	San Miguel de Urcuqui	16.771,08	14893,99	1877,1	1	11
Azuay	Oña	8.130,69	7290,42	840,27	1	10
Loja	Zapotillo	4.982,14	4462,61	519,53	1	10
Cotopaxi	Saquisili	7.921,72	7205,48	716,24	2	9

Tabla 19. Tasas de crecimiento y tierras agrícolas perdidas en 10 años por cantón (4/5)

Provincia	Cantón	Superficie Agrícola (ha) 2002	Superficie Agrícola restante después de diez años (ha)	Superficie Agrícola pérdida en 10 años(ha)	Tasas de crecimiento del año 2001 al 2010(%)	Porcentaje de tierras agrícolas perdidas en 10 años
Loja	Macara	4.625,22	4216,54	408,68	0	9
Carchi	Mira	20.559,03	18688,05	1870,97	-1	9
El oro	Arenillas	731,2	671,77	59,43	2	8
Imbabura	Otaválo	21.567,55	19898,27	1669,28	2	8
Cotopaxi	Salcedo	19.280,13	17762,62	1517,52	1	8
Loja	Saraguro	38.794,63	35601,92	3192,72	1	8
Azuay	San Fernando	3.530,58	3240,82	289,76	0	8
Chimborazo	Chunchi	6.597,50	6067,31	530,19	0	8
Zamora Chinchipe	Centinela del Cóndor	5.916,37	5460	456,37	-1	8
Santo domingo de los Tachillas	Santo domingo	81.350,19	75893,56	5456,62	3	7
El oro	Piñas	9.458,28	8768,7	689,58	1	7
Pastaza	Santa clara	204,01	192,45	11,56	2	6
Tungurahua	Santiago de Pillaro	11.096,18	10481,5	614,68	1	6
Loja	Chaguarpamba	41,72	39,11	2,61	-1	6
Imbabura	Ibarra	34.315,43	32439,6	1875,84	2	5
Loja	Loja	5.264,74	5008,86	255,88	2	5
Los Ríos	Urdaneta	6.269,24	6001,91	267,33	1	4
Cotopaxi	La mana	14.126,31	13740,09	386,22	3	3
Morona Santiago	Logroño	358,45	346,57	11,88	2	3
Tungurahua	San pedro de Pelileo	12.462,59	12051,68	410,91	2	3
Cotopaxi	Pujili	21.406,45	20706,36	700,09	1	3
Napo	Tena	87,11	85,41	1,7	3	2
Pichincha	Rumiñahui	935,5	920,72	14,78	3	2
Cotopaxi	Latacunga	44.419,55	43503,89	915,66	2	2
Tungurahua	Ambato	33.654,03	33084,6	569,43	2	2
Chimborazo	Guano	30.312,88	29711,85	601,03	1	2
Loja	Sozoranga	513,88	505,51	8,37	-1	2
Zamora Chinchipe	Paquisha	2.740,59	2672,08	68,51		2
Pichincha	San miguel de los bancos	9.788,71	9700,24	88,47	5	1

Tabla 19. Tasas de crecimiento y tierras agrícolas perdidas en 10 años por cantón (5/5)

Provincia	Cantón	Superficie Agrícola (ha) 2002	Superficie Agrícola restante después de diez años (ha)	Superficie Agrícola pérdida en 10 años (ha)	Tasas de crecimiento del año 2001 al 2010(%)	Porcentaje de tierras agrícolas perdidas en 10 años
Chimborazo	Guamote	11.371,45	11221,76	149,69	3	1
Pichincha	Mejía	12.173,46	12103,13	70,33	3	1
Cañar	El tambo	1.911,93	1900,15	11,79	2	1
Tungurahua	Patate	4.759,34	4730,28	29,07	2	1
Carchi	Tulcán	26.391,38	26189,99	201,38	1	1
Cotopaxi	Sigchos	36.656,09	36248,05	408,04	1	1
El Oro	Marcabeli	1.520,41	1509,44	10,97	1	1
El Oro	Santa Rosa	7.641,81	7532,59	109,22	1	1
Loja	Catamayo	3.530,64	3505,74	24,9	1	1
El Oro	Santa Rosa	7.641,81	7532,59	109,22	1	1
Loja	Catamayo	3.530,64	3505,74	24,9	1	1
Morona Santiago	Limón Indanza	43.423,59	43077,38	346,21	-1	1
Loja	Olmedo	505,85	503,24	2,61	-2	1
El Oro	Balsas	25,89	25,79	0,1	3	0
Tungurahua	Cevallos	1.801,56	1800,66	0,9	2	0
Tungurahua	Tisaleo	3.962,81	3955,06	7,75	2	0
Carchi	San pedro de huaca	4.860,24	4845,46	14,78	1	0
Tungurahua	Quero	9.691,46	9672,75	18,71	1	0
Tungurahua	Mocha	2.118,62	2108,6	10,02	1	0
Zamora Chinchipe	Nangaritza	3.695,79	3680,46	15,32	1	0
Chimborazo	Penipe	3.612,70	3600,54	12,16	0	0
Total		1.944.163,16	1445230,29	498932,88		26

Fuente: Mapa de uso y cobertura del suelo, 2002- Censo de Población y Vivienda, 2010

Elaborado por: Autores

Como se observa en el gráfico 7 el porcentaje de tierras agrícolas tiende a disminuir mientras que la población se mantiene sin ningún cambio significativo. Difícilmente se puede decir que existe una relación directamente proporcional entre el incremento poblacional y la disminución de las tierras agrícolas, particularmente hablando del área de estudio. Sin embargo para confirmar la información obtenida se aplica la *Coefficiente de correlación por rangos de Spearman*, el cual permite medir la

asociación entre atributos en escala ordinal, se aplica para obtener correlaciones entre ordenaciones (Sarabia y Pascual, 2007) .

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum D^2}{N(N^2 - 1)}$$

Donde;

D= (h₁-h₂), donde h₁ muestra el rango de tasas de crecimiento del año 2001 al 2010 y h₂ muestra el rango de tierras agrícolas perdidas en 10 años

N= número de muestras

La aplicación de la fórmula da como resultado un valor de correlación de 0,09 (Ver Anexo 8. Tabla de cálculo de correlación por rangos) lo cual significa que las variables son independientes porque no existe una correlación. Es decir mientras que las tasas de crecimiento aumenta no implica que los porcentajes de pérdida de tierras agrícolas aumenten o viceversa.

Los resultados analizados son variables y no indican ningún patrón de comportamiento, cada cantón presenta un panorama diferente ya sea por sus condiciones sociales, económicas o ambientales. Además, no presentan continuidad en el territorio sino que son fenómenos dispersos en distintas partes del área de estudio. A manera de conclusión se puede decir que en los Andes ecuatorianos no existe una correlación entre el aumento de la población por medio de las tasas de crecimiento poblacional y la disminución o pérdida de las tierras agrícolas, sin embargo debería tomarse en cuenta otros indicadores tanto sociales como ambientales para afirmar dicha conclusión.

Las pérdidas de las tierras agrícolas sin duda es una problemática que afecta ambiental, social y económicamente a las poblaciones; ambientalmente se erosiona el recurso suelo hasta la pérdida por completo provocando el aumento de la frontera agrícola, socialmente la población no está en capacidad de remediar o recuperar sus suelos y económicamente sus habitantes se ven obligados a cambiar sus actividades económicas. A lo largo de la historia de los Andes ecuatorianos se han visto afectados por los procesos erosivos, las condiciones a las que se han visto sometidos los suelos del área han provocado su degradación y en la actualidad este comportamiento no es diferente por lo contrario se han perdido las técnicas ancestrales y se realiza un agricultura intensiva y de monocultivos desgastando de manera más rápido los suelos.

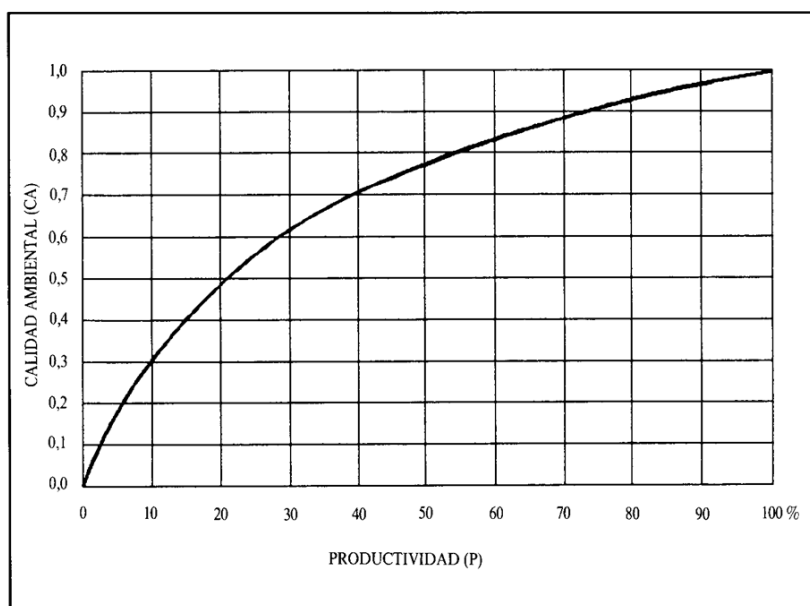
El área de estudio tiene una superficie con usos agrícolas de 1`944.163 ha para el año 2002 de acuerdo a la información cartográfica procesada, diez años después la erosión

ha provocado que se pierda alrededor de 498932 ha, una pérdida correspondiente al 26% quedándose con 1445230 ha las cuales no necesariamente se encuentran en las mejores condiciones para las actividades agrícolas. Se debe tomar en cuenta que de esta superficie de uso agrícola una parte corresponde a suelos de mediana sensibilidad y menor sensibilidad, es decir suelos cuya capa productiva se perdería en 20 o más años y si no se realizan actividades de recuperación de suelo este proceso tardaría mucho menos tiempo.

Las tierras agrícolas restantes requieren de un uso y manejo adecuado, donde la población sea consciente, de que la degradación de los suelos conlleva algunos parámetros como la pérdida en la variedad en los productos de consumo masivo además la disminución de la productividad de los suelos y una pérdida de la calidad ambiental producto de todo esto se reduce la disponibilidad de alimentos para la población y un gran deterioro del ambiente.

A continuación se presenta un gráfico que representa la relación existente entre la calidad ambiental referente a las condiciones adecuadas para el desarrollo agrícola en condiciones sostenibles y la productividad de los suelos:

Figura 13. Relación de la calidad ambiental y la productividad de los suelos



Fuente: Milenarium, 2008

Como se observa en el gráfico vemos que mientras mejor es la calidad ambiental la productividad también es positiva esto quiero decir que con prácticas agrícolas adecuadas y condiciones ambientales favorables se puede mantener una seguridad

alimentaria sustentable y una conservación adecuada de los recursos naturales en especial del suelo. Sin embargo, esto no es suficiente puesto que la conservación de los recursos naturales implica una serie de actividades y actores que actúan en conjunto, por ejemplo; monitoreo ambiental, investigación, normativas entre otras, para con esto determinar la situación real del recurso y de esta manera poder tomar las medidas necesarias en favor de los recursos.

El correcto manejo de los suelos en función de cada una de sus características físicas prevé y evita que sufran procesos de erosión cuidando la capa productiva que es fundamental en las labores agrícolas y es donde se desarrollan todos los procesos de vida. Además si no se conservan los suelos obligan a los agricultores a buscar otras tierras para cultivar provocando suelos erosionados y el avance de la frontera agrícola hacia bosques alto andinos de los Andes ecuatorianos los cuales proveen del recurso agua a las tierras bajas para los cultivos. Entonces, la pérdida de los ecosistemas fuente de captación de agua desencadena una serie de problemas relacionados con el recurso suelo y la población como: disminución del recurso agua para cultivos y para consumo humano, suelos vulnerables a la desertificación, menores superficies para cultivar, menor producción y variedad de alimentos lo cual a la población a aumentar la frontera agrícola y usar otros territorios para sus cultivos.

Siendo así, la erosión de suelos se convierte en la amenaza ambiental y la población el agente vulnerable sujeto a la pérdida de suelos, dos indicadores que permiten evidenciar la existencia del riesgo para el ambiente y para la sociedad, es por esta razón que es necesario seguir las políticas actuales, fortalecer la legislación ambiental y formular estrategias que permitan disminuir los impactos del proceso erosivo.

CAPITULO 5

PROPUESTA DE ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE SUELOS EN LOS ANDES ECUATORIANOS

El presente estudio con en base a los resultados obtenidos se proponen estrategias de manejo de suelo tomando en cuenta las características de cada área en particular.

Los resultados determinados en el estudio realizado sobre el estado actual del recurso natural no renovable suelo, demuestran la situación crítica del mismo ya sea desde el punto de vista ambiental y el contexto social.

Los diferentes panoramas del estado actual del suelo se han demostrado en los capítulos anteriores, por consiguiente es necesario proponer estrategias que abarquen todo el problema relacionado al recurso suelo. No solo en base al uso y manejo, sino también incluir la institucionalización del recurso como es el caso del recurso hídrico con la Secretaria Nacional del Agua (SENAGUA), la visión de ser un recursos solamente para producción agrícola dejando de lado su conservación. Además, la actualización de información a mayores escalas para que sean insumos para la planificación de los recursos.

En esta sección se considera la situación actual legislativa, la perspectiva desde la planificación nacional en base al Plan Nacional del Buen Vivir 2009-2013, las visiones institucionales a nivel mundial-nacional y el estado de la investigación sobre el recurso en función de los proyectos realizados por las instituciones encargadas.

5.1 CONTROL DE EROSIÓN EN LOS SUELOS DESDE LA PERSPECTIVA SOCIO-AMBIENTAL

En base a los resultados obtenidos en el estudio, se puede identificar las tierras agrícolas donde la erosión ha afectado notoriamente los suelos y requieren técnicas o métodos para controlar el proceso erosivo. Como se ha explicado anteriormente los Andes ecuatorianos tienen una diversidad de paisajes naturales con características biofísicas diferentes, lo cual requiere el control de erosión de los suelos sea específico para cada lugar y es por esta razón que no es pertinente proponer una estrategia generalizada para el área de estudio siendo necesario conocer las técnicas existentes para la conservación del recurso suelo en estas áreas.

Los métodos o técnicas que se proponen generalmente se refieren a *alternativas agronómicas* que tratan de prácticas que incluyen el manejo del suelo y desarrollo de cultivos, con el fin de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudar a disminuir la erosión de los suelos. Dentro de estas alternativas encontramos lo siguiente; rotación de cultivos, cultivos en faja, cultivos de cobertura, distribución adecuada de cultivos, barreras vivas, cultivos en contorno, abonos verdes, labranza reducida y cero labranza, reforestación. Además, también se encuentran técnicas denominadas *prácticas mecánicas* las cuales se lleva a cabo con implementos agrícolas, equipo pesado o mano de obra para realizar movimientos de la tierra con el fin de disminuir los escurrimientos superficiales y la reducción de la erosión en terrenos con pendiente (Tayupanta y Cordova, 1990).

La implementación de estas técnicas sin duda es esencial para controlar los procesos erosivos siempre y cuando se trate de acuerdo a las necesidades o requerimientos y sus propias adaptaciones de las tierras agrícolas. Kirkby (1980, Pág 313) establece que “*la estrategia más adecuada para la conservación depende de seleccionar el nivel de resolución espacial, identificando los factores más importantes que influyen en la erosión a esa escala, determinando valores para una pérdida de suelo máxima aceptable y determinar las técnicas más adecuadas para influir en los factores pertinentes de control a una escala dada.*”

En el presente trabajo a más de proponer la aplicación de estas técnicas, ve la necesidad de tomar en cuenta el factor social, puesto que la población es quien ejerce un papel de vital importancia en el estado de los suelos y de los cuales depende la seguridad alimentaria y nutricional de las poblaciones.

Los agricultores manejan sus suelos de acuerdo a lo económicamente posible en la mayoría de los casos dejando suelos completamente degradados, es por esta razón que se ha visto importante proponer estrategias que involucren a la población dedicada a las actividades agrícolas con énfasis en la capacitación y socialización de uso adecuado del suelo.

Inicialmente, las actividades agrícolas en los Andes Ecuatorianos se basan fundamentalmente en cultivos de autoconsumo, es decir que las tierras agrícolas del área están siendo explotadas con el fin de abastecer de alimentos a toda una población con un crecimiento desacelerado. Estas tierras generalmente pertenecen a pequeños productores cuyos cultivos son de subsistencia, al ser así los suelos se ven mayormente

expuestos a la pérdida de productividad por la intensificación a los que se ven sometidos. Estas situaciones desencadenan una serie de problemas entre los cuales está la erosión, donde el trabajo agrícola se hace inmediatamente más difícil, más costoso y menos remunerativo y su realización es prácticamente imposible. Estos panoramas son los que se han visto en el área de estudio: áreas completamente erosionadas donde la población se ve afectada económicamente, áreas en proceso de erosión donde el agricultor no busca o encuentra formas para remediar el proceso y el escenario más complicado que son las tierras abandonadas. Es ahí donde se debe hacer énfasis tanto en la conservación de suelos como en los conocimientos que deben tener los agricultores para manejar adecuadamente sus tierras, mientras la erosión continúe afectando los suelos y empobreciendo a la gente dedicadas a esta actividad difícilmente la agricultura se convertirá en un pilar de la economía nacional.

Conociendo que esta situación se repite en todo el país se requiere que el problema sea manejado a nivel global o a gran escala, mediante el establecimiento de políticas nacionales que engloben esta situación. La identificación de las principales regiones con tendencia a la erosión sirve como base para el establecimiento de políticas de conservación de suelos, sin embargo, las políticas a escala nacional más que reducir la pérdida de los suelos causada por erosión se enfoca en el desarrollo de modelos macroeconómicos para evaluar los efectos económicos de la erosión (Kirkby, 1980). Siendo así, se plantea ver a la conservación de los suelos desde a una escala más bien regional donde es posible realizar una evaluación y clasificación de la tierra e implementar medidas de conservación, siempre y cuando se parta de una política establecida. Entonces, las políticas en el país deben enmarcarse tanto en el desarrollo de la agricultura como en el uso adecuado y conservación del recurso suelo. Es decir, políticas en base a un diagnóstico actual de los suelos donde se realicen evaluaciones de las tierras agrícolas y establezcan el uso adecuado del suelo como una prioridad. Además, la inclusión de un diagnóstico de la población donde se permita conocer la quienes se dedican a la agricultura y el nivel de conocimiento del agricultor respecto a las actividades agrícolas de cómo, qué y dónde cultivar.

Fundamentalmente, lo que se trata en el presente trabajo es proponer una estrategia donde el control de la erosión sea parte de las políticas nacionales de conservación de los recursos naturales, donde exista una interrelación ser humano-ambiente y se trabaje en conjunto ambos elementos y se encuentren dentro de los objetivos planteados a nivel nacional. Al convertirse en una estrategia dentro de las políticas nacionales los

gobiernos autónomos descentralizados cantonales se ven en la obligación de incluir dentro de sus planes de desarrollo y ordenamiento territorial sus propuestas para combatir el problema de la erosión.

La erosión de los suelos no solo tiene repercusiones ambientales sino también sociales, los procesos erosivos ponen en peligro la seguridad alimentaria de la población, esta es entendida según la Ley de Seguridad Alimentaria y Nutricional (R.O. N° 259) como *“un derecho humano que garantiza la capacidad de abastecimiento con garantía de acceso físico y económico de todos los habitantes a alimentos sanos, nutritivos, suficientes, inocuos, de buena calidad, y concordantes con la cultura, preferencias y costumbres de la población, para una vida sana y activa”*. Además, de constituir un objetivo estratégico y política del Estado se convierte una acción prioritaria del Gobierno Nacional. Los cultivos que se producen en los Andes Ecuatorianos como se ha mencionado anteriormente son para el consumo de los ecuatorianos por lo tanto las tierras agrícolas deben estar en las mejores condiciones para poder abastecer la cantidad de alimentos que demanda la población del país. Sin embargo, en el Ecuador la seguridad alimentaria solo tiene un enfoque social y no existe una relación con la parte ambiental en este caso con el recurso suelo, por ejemplo los programas existentes son: Programa Aliméntate Ecuador (MIES); Programa del Bono de Desarrollo Humano; Programa de Alimentación Escolar a cargo del Ministerio de Educación y Cultura; y Programa de Alimentación y Nutrición Nacional a cargo del Ministerio de Salud Pública. Podemos ver que no existe un programa de socialización del manejo adecuado del suelo para precautelar la seguridad alimentaria de la población, el uso correcto y adecuado de tierras cultivables previene los procesos erosivos además de garantizar el abastecimiento de alimentos para la población. Es por esta razón que la erosión de los suelos debe manejarse desde diferentes puntos de vista o de una manera articulada.

Finalmente se propone que la estrategia se establezca de la siguiente manera:

Control de la erosión de suelos tomando en cuenta factores ambientales y sociales, utilizando prácticas agronómicas y mecánicas para el manejo de los suelos y la socialización a la población del uso adecuado de los suelos, enmarcados dentro de las políticas nacionales para precautelar la seguridad alimentaria

5. 2 INSTITUCIONALIZACIÓN DEL RECURSO SUELO

Inicialmente, surge la necesidad de comprender los términos relacionados a la parte ambiental, varias cosas se dicen utilizando los términos *recursos naturales* en cualquiera de los ámbitos en los que estos estén involucrados. Vanamente se refiere a los insumos provistos por la naturaleza pero aprovechados por el ser humano, no necesariamente quiere decir que son propiedad del hombre. Pero no necesariamente en la población ecuatoriana se tiene esta concepción del término, más aún cuando se trata de *recursos naturales renovables y no renovables*, es esta idea el punto de partida para entender la visión que se le da al recurso suelo.

En el presente estudio, después de tratar de comprender desde diferentes perspectivas la situación del recurso natural no renovable (RNNR) *suelo* ya sea ambiental o socialmente surgen cuestionamientos acerca de cómo se ha llevado o encaminado el manejo de éste.

Partiendo del marco legal a nivel nacional a Constitución de la República del Ecuador 2008 dentro sus principios fundamentales en el Art 1. menciona “.....*Los recursos naturales no renovables del territorio del Estado pertenecen a su patrimonio inalienable, irrenunciable e imprescriptible.*” Si bien, el suelo forma parte de los RNNR por ende es el Estado quien debe asumir todo los aspectos que involucre al recurso, pero al ser inalienable, irrenunciable e imprescriptible involucra una serie de condiciones en el uso y acceso a los suelos agrícolas, que en la realidad del campo no se percibe de esa forma. La intervención del Estado en la degradación de los suelos es aun débil (GeoEcuador, 2008).

Por otro lado en el Título VII del Régimen del Buen Vivir en el capítulo II de Biodiversidad y recursos naturales en el Art. 409.- “*Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.....*”.

Para complementar, el Art. 282 establece que es el Estado quien norma el uso y acceso a la tierra para cumplir la función social y ambiental “*Un fondo nacional de tierra, establecido por ley, regulará el acceso equitativo de campesinos y campesinas a la tierra.*”.

La Constitución es el marco legislativo a nivel nacional, por lo tanto la directriz de todas las decisiones que se tomen en el país, pero podemos notar que en ciertos artículos citados existe una serie de ambigüedades que pueden ser interpretadas de cualquier forma, además dificulta el establecimiento de políticas y estrategias a nivel del manejo de recursos naturales.

Por otro lado, la revista Geo Ecuador (2008) describe la situación legal del suelo donde; en un primer momento la legislación ecuatoriana favoreció la actividad agrícola y forestal, implementando leyes como; Ley de colonización de la región amazónica (1977); la Ley de desarrollo agrícola (1979); y la Ley de fomento y desarrollo agropecuario (1979), las mismas que dan a entender el uso del suelo de una manera indiscriminada y sin contenidos técnicos. La introducción de la Ley forestal y conservación de áreas naturales y vida silvestre en 1981, incluye una nueva perspectiva ambiental que engloba la conservación de los recursos y en 1992 se introduce, más específicamente, el Reglamento para la preservación y control de la contaminación ambiental en lo referente al suelo (R.O. 989, 1992) que permite el marco legal para regular y sancionar el uso indebido del suelo.

De una manera bastante tardía se expresa, a través de este reglamento, el carácter estratégico del suelo y su condición de recurso. Esta fue una respuesta estatal ante la obvia y creciente problemática de la degradación del suelo por efecto de las presiones humanas (Geo Ecuador, 2008). Es necesario mencionar que el marco legal más específico es el Reglamento de la prevención y control de la contaminación ambiental en lo referente al recurso suelo, promulgado en 1992, donde según el Ministerio de Agricultura y Ganadería para ese tiempo:

“Define organismos competentes, normas generales y específicas para prevención y control de la contaminación; evaluación agroecológica de la tierra; uso, manejo y conservación del suelo; preservación ambiental del recurso; registros y permisos de uso; estudios de impacto ambiental; vigilancia y control; educación y promoción; sanciones; acción popular.” (GeoEcuador, 2008, Pág. 89)

Pero lo que causa mayor admiración desde es el punto de vista de estudio es el artículo 20 el cual indica que los suelos dedicados a labores agrícolas, ganaderas y forestales tienen que ser utilizados en función de su aptitud o clase agroecológica para de esta forma evitar el deterioro o degradación del recurso suelo lo que conlleva a mantener su

capacidad productiva. Dos artículos que engloban todos los requerimientos necesarios para el uso, manejo y conservación del suelo adecuado, claramente las leyes están presentes pero su cumplimiento ausente.

Las iniciativas del manejo de los suelos se ha visto impulsada por instituciones no estatales como el CAMAREM (Sistema de capacitación para el manejo de recursos naturales renovables), la Agencia suiza para el desarrollo y cooperación (COSUDE) cuyo objetivo es “apoyar a la reducción sostenible de la pobreza”, y el Instituto de Investigación para el Desarrollo, han trabajado con proyectos de investigación científica localizados (GeoEcuador, 2008). Si bien son instituciones privadas con una gran iniciativa debería ser un ejemplo para el gobierno central, para un manejo del suelo integral y a nivel nacional.

En el caso del Ecuador la institucionalidad ambiental se ha caracterizado por mantener un centralismo y relación vertical del Estado y la población, las instituciones del estado central han manejado los elementos ambientales de una forma desarticulada, se ha visto la sobre posición de competencias, la falta de planificación y comunicación han dado como resultado un manejo lento de la parte ambiental (Plan Nacional del Buen Vivir, 2009).

Con los resultados de este estudio y conociendo que no existe una institución encargada de todo lo relativo al suelo, se hace relevante el conocer las instituciones gubernamentales ligadas de alguna forma ya sea a los recursos naturales en general, la agricultura o directamente al manejo de los suelos, siendo el caso del Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura (MAGAP), Ministerios del Medio Ambiente (MAE), Centro de Levantamiento Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos (CLIRSEN), Instituto Nacional de Investigaciones Agro Pecuarias (INIAP) y la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos (SNGR) y a nivel mundial la Organización Mundial de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

A nivel mundial la FAO ha desarrollado programas y proyectos que se han orientado a mitigar la pobreza y la reducción del hambre, promoviendo la producción agrícola. En la actualidad, la FAO desarrolla proyectos e interviene en varias provincias del Ecuador, específicamente en las zonas rurales, llevando a cabo acciones de recuperación de medios de vida sostenible, implementación de conocimientos y prácticas ancestrales a

través del manejo adecuado de los recursos naturales. La FAO realiza proyecto enmarcados en el Desarrollo Rural, Seguridad Alimentaria, con el fin de fortalecer las capacidades del gobierno ecuatoriano para desarrollar un sistema sostenible de estadísticas sobre la agricultura y la alimentación garantizando un manejo y conservación del patrimonio natural.

En este contexto a nivel nacional, una de las instancias públicas involucrada es el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Pesca y Acuicultura (MAGAP), enfocándonos en lo concerniente a las actividades agrícolas su misión se centraliza en “*regular, normar, facilitar, controlar, y evaluar la gestión de la producción agrícola*” pero desde el punto de vista del desarrollo económico de las poblaciones y el crecimiento de la producción y productividad del sector. Pero como se puede buscar un desarrollo económico en las poblaciones cuando el principal insumo de las actividades agrícolas (suelo) es el de menor importancia, donde se da prioridad al uso de fertilizantes, pesticidas para acelerar la producción y “mejorar” por así decirlo el rendimiento de los cultivos. No es una cuestión de buscar métodos de remediación de los suelos, es más una cuestión de responsabilidad ambiental no solo de los agricultores sino de los especialistas y técnicos conocedores de la situación.

El MAE con un desarrollo basado en la conservación y el uso apropiado de la biodiversidad y de los recursos, “*diseña las políticas ambientales y coordina las estrategias, los proyectos y programas para el cuidado de los ecosistemas y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.*”. Por la parte social existen instituciones gubernamentales quienes trabajan con la población como es el Ministerio de Inclusión Económica y Social (MIES) con una misión de promover y fomentar la inclusión económica y social de la población, de un modo que se asegure una adecuada calidad de vida de la población. Sin embargo, es importante tomar en cuenta que el bienestar de las poblaciones está enmarcado en un conjunto de elementos, y que los ámbitos económicos y sociales están ligados con la parte ambiental puesto que una población sin tierras que cultivar, tierras degradadas o sin áreas donde producir difícilmente se podrá hablar de una calidad de vida. Por esta razón, se debe conocer que el suelo es el soporte de las actividades humanas, el insumo principal de las actividades agropecuarias y recurso estratégico en función de la soberanía alimentaria. Además, su estado crítico de conservación, el inadecuado manejo que es acarreado a lo largo de la historia y la incesante pérdida que se produce cada año.

Como podemos ver existen entidades gubernamentales encargadas de una u otra forma del recurso suelo, otras del desarrollo agrícola y otras del desarrollo social. Sin embargo, existe una desarticulación institucional lo cual conlleva a que cada sector se desarrolle por separado, cuando lo óptimo sería un trabajo interinstitucional y un manejo sistemático del sector social, económico y ambiental. Con estos antecedentes y algunas de las premisas que se han mencionado, llevan a proponer como una estrategia para los suelos:

La implementación de una institución como entidad reguladora del uso, manejo, investigación en función de la conservación del recurso no renovable suelo con una visión social, económica y ambiental

5.3 ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN DEL SUELO

El suelo, viéndolo como la parte de un sistema ecológico no puede ser aislado de los otros elementos bióticos y abióticos, todos los elementos corresponden a un complejo sistema de interacciones. Partiendo de esta idea, el suelo debe ser visto más allá de su característica productiva, razón por la cual debe hablarse de un campo investigativo con mayor profundidad de los suelos.

Los estudios de suelos más rigurosos y sistemáticos que se han realizado en el Ecuador corresponden a la década de 1980-1990, han pasado ya 12 años o tal vez más y los datos siguen siendo los mismos, sin desmerecer el significado y la relevancia de los resultados de dichas investigaciones. Por ejemplo, solo por mencionar las condiciones climáticas han variado notablemente en este periodo de tiempo y por consecuencia esto debe influenciar en la composición de los suelos pero la información en este ámbito es relativamente escasa para hacer una afirmación de la misma. La revista GeoEcuador (2008, Pág.77) dice lo siguiente;

“la investigación respecto a la problemática de los suelos, se puede advertir una disminución de estudios y publicaciones de alcance nacional, excepto aquellos estudios de caso que tratan de áreas localizadas.”

Entonces, los estudios de suelos se convierten en una prioridad no solo en cuanto a su manejo, también en el marco de la planificación de los territorios a una escala global, regional y local.

Uno de los inconvenientes que se tuvo para la presente investigación fue lo relativo a la información cartográfica digital para el respectivo geo procesamiento, empezando porque la cartografía no se mantiene en un año base, cada temática corresponde a un año diferente 2000-2002-2006.

En el ámbito de la investigación y actualización de la información cartográfica se encuentra CLIRSEN, institución cuya misión establece *“Generar, integrar y estandarizar la geo información temática y proporcionar servicios técnicos, aplicados a la formación del inventario de los recursos naturales y el ambiente...”* Sin embargo, los insumos más actuales proporcionados por la institución y utilizados en el estudio son del año 2000, indicando la falta de actualización y monitoreo de la información. Sin dejar de mencionar que la información cartográfica está repartida por las diferentes instituciones públicas sin ninguna clase de estandarización.

También otra barrera en este contexto es la especialización de técnicos en el ámbito de la edafología y de conservación de recursos, la Agronomía es una de las carreras cuya aplicación está ligada completamente por el recurso suelo, sin embargo debería analizarse si dentro de sus estudios se contempla la conservación de los suelos como recurso natural y no como insumo agrícola. La edafología siendo la ciencia encargada del estudio de los suelos, en el Ecuador pocos son las personas especializadas en esta rama o más bien esta no está contemplada en los centros de educación superior como una carrera de especialización.

Generalmente los estudios del suelo están encaminados a su relación con la actividad agrícola, como aumentar la producción y rendimiento de los suelos, los proyectos se dirigen al desarrollo rural visto desde la economía sin tomar en cuenta la responsabilidad ambiental. Se puede decir entonces que hace falta entender la incidencia de la agricultura en la degradación de los suelos, en particular los suelos subutilizados para la potenciación de los mismos y los sobre utilizados para mejorar su manejo, entre otras situaciones. Serviría de gran apoyo la implementación del catastro rural a nivel nacional para identificar los predios y su estado o grado de deterioro, fundamentándose en lo que determina la Constitución como competencia para los gobiernos municipales de “*Formar y administrar los catastros inmobiliarios urbanos y rurales.*” en el artículo 264 numeral 9.

Estas afirmaciones de la situación de los estudios y las investigaciones de los problemas del recurso suelo, reflejan la necesidad de nuevas investigaciones con información actualizada del estado real del recurso a escala nacional y regional, añadiendo la aplicación de nuevas metodologías apoyada de la tecnología, sistemas de información geográfica, sensores remotos, técnicas de campo y otras más.

Finalmente se propone la siguiente estrategia:

Innovación de estudios, investigaciones y actualización de la información en función de las nuevas tecnologías para la planificación, manejo y monitoreo del recurso suelo

CONCLUSIONES

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre que sirve de soporte para las actividades humanas, la composición físico-química de los suelos posibilita la formación de diferentes tipos de suelos condicionando los usos para el ser humano. Sin embargo, el ser humano al no respetar estas condiciones impuestas por la naturaleza desencadena una serie de problemas ambientales, entre los cuales está la erosión. La erosión al ser un proceso natural que permite la remoción del material superficial del suelo por acción del agua o del viento, se ve acelerado ocasionando la pérdida de suelos en particular su capa productiva. A esto se debe añadir la influencia que ejerce factores condicionantes como son el clima, el relieve y la vegetación.

La erosión hídrica se debe principalmente al agua, donde las precipitaciones en función de su intensidad y tiempo son un factor influyente en la erosión especialmente en los suelos descubiertos. La erosión causada por el agua se presenta en diferentes tipos; pluvial causada por el impacto de las gotas de lluvia, laminar, surcos, cárcavas y barrancos diferencias por flujo concentrado del agua.

Para comprender el proceso de erosión causada por el agua se utilizan métodos de estimación de erosión hídrica los cuales se permiten determinar los mecanismos que la producen la pérdida de los suelos. Entre estos se encuentran los métodos cuantitativos de evaluación directa cuyo objetivo es utilizar modelos mediante la aplicación de fórmulas empíricas.

La cuantificación del proceso erosivo en los suelos de los Andes Ecuatorianos se ha realizado en base al cálculo de tasas de erosión, utilizando la metodología de Stehlik en función de factores climáticos, petrológico, de susceptibilidad de los suelos, pendientes, longitud de pendiente y cobertura vegetal. La aplicación de la formula determina diferentes valores de tasas de erosión a lo largo del área de estudio y a partir de esta información raster se genera el mapa de Tasas de erosión en los Andes Ecuatoriano en el cual se hace una clasificación de 5 rangos; 0-32; 33-80; 81-148; 149-270; 271-824 mm/año. De esta clasificación se determinan áreas con diferentes valores de pérdida de suelo en tierras cultivadas debido a las extremas condiciones que estos se encuentran, siendo así se determina un área desde Baños hasta

Paloracon tasas de pérdida de suelos mayores a 271 mm/año, un área gravemente afectada por la erosión . Por otro lado, a lo largo del Piedemonte peri andino en el oriente y hacia el occidente desde las localidades de La Mana hasta el sur en Pallatanga presentan tasas de 149 a 270 mm anuales. Alrededor de los suelos con tasas de más de 149 mm/año se evidencian suelos cuyas pérdidas anuales están entre 81 y 148 mm/año denotando que son suelos en procesos de erosión. En los Andes ecuatorianos existe un predominio de suelos con tasas de erosión entre 33-81 mm/año, en base al mapa están dispersos en toda el área, pero particularmente al noroccidente y toda la parte oriental desde El Chaco hasta San Juan Bosco. Por último, las tasas entre 0 y 32mm/año se observan en mayor proporción en toda el área pero con un predominio en las cuencas interandinas y mayormente en la provincia de Loja.

A partir del mapa mencionado anteriormente en el proyecto “Causas, efectos y riesgos morfodinámicos asociados al cambio climático en Ecuador” se genera un segundo mapa producto de la vectorización de la información raster y análisis geo estadístico. Siendo así a partir de esta información se generan un clasificación de cinco clases de tasas donde el 4% de la superficie corresponde a áreas donde no hay erosión, los suelos con tasas menor a 24 mm/año tienen un porcentaje del 52% de la superficie, siendo el mayor porcentaje con respecto al área de estudio. Las tasas de erosión mayores a 24 mm/año se presentan en un 35% en el área de estudio

Los resultados han demostrado el que si existe una pérdida del recurso suelo anualmente y que dicha pérdida al ser poco perceptible en el espacio, no genera una reacción por parte de la población. Pero a lo largo del tiempo se convertirá en un riesgo para los habitantes, por la pérdida de los suelos en particular su capa productiva y la reducción del espacio para la producción de alimentos de consumo local.

Los suelos con uso agrícola o tierras agrícolas en el área de estudio corresponden al 16, 37% de la superficie total con un predominio de cultivos de ciclo corto. Tomando en cuenta el impacto que genera la erosión en los suelos, en particular en su capa productiva, donde se realizan las labores agrícolas es importante conocer como los procesos erosivos afectan a estos suelos hasta llegar a la pérdida total de estos. Por lo tanto se establece las pérdidas de tierras agrícolas en el tiempo es decir,

los años de “vida” que le quedan al recurso suelo, en otras palabras los años de existencia que tiene hasta que se vea completamente degradado.

La sensibilidad de pérdida productiva de los suelos de uso agrícola se realiza en función de la profundidad de los suelos y las tasas de erosión, Esta relación de variables determina que el 41% de los suelos agrícolas son de menor sensibilidad a su pérdida puesto que su desgaste total se ve proyectado a más de 20 años, por otro lado los suelos medianamente susceptibles (10-20 años) corresponden al 33% de la superficie total. Sin embargo, la situación más crítica es la relacionada a los suelos de mayor susceptibilidad de pérdida que corresponden a la cuarta parte (25%) del territorio estudiado.

Los resultados de sensibilidad de pérdida de productividad de los suelos se analizan dividiendo el área de estudio en Sierra Norte, Sierra Central y Sierra Sur. En la Sierra Norte las cuencas interandinas poseen suelos con menor sensibilidad de pérdida de productividad, mientras que las área de mediana sensibilidad tienen una distribución dispersa ubicadas en su mayoría hacia las vertientes occidentales particularmente Alluriquín, Luz de América y Las Pampas pero también se presenta esta situación en los cantones Guaranda, Chimbo y San Miguel. Las áreas de mayor sensibilidad productiva por erosión se presentan en Cotacachi en los sectores de García Moreno, Vacas Galindo, Apuela y Peñaherrera, hacia el norte se observan suelos con las mismas características en Pimampiro alrededor de los centros poblados de Chuga y Mariano Acosta.

En la Sierra Central, es fundamental mencionar la situación del cantón Nabón donde aproximadamente el 40% de su superficie tiene suelos de mayor sensibilidad productiva provocando que cambien por completo las actividades económicas de la población. Los suelos medianamente sensibles tienen una distribución dispersa en particular en el cantón Santa Isabel y Girón y en menor proporción están los suelos de menor sensibilidad productiva dispersos en menores extensiones en el área correspondiente a las cuencas interandinas de Cuenca y Girón-Nabón. Hacia la Subregión Sur aproximadamente el 50% de la superficie del cantón Pindal y un 45% del cantón Celica se resaltan suelos con mayor sensibilidad de pérdida de productividad los cuales pertenecen a tierras con cultivos de ciclo corto. En el valle del río Macara se presenta cultivos de arroz con una adecuada estructura de terraceo

y regadío para el óptimo aprovechamiento del recurso suelo. Los suelos de los Andes ecuatorianos presentan diferentes escenarios respecto a la sensibilidad de pérdida de productividad de los suelos por la erosión, en general los suelos están afectados por los procesos erosivos y requieren que se realicen las acciones necesarias para que no se pierda la capa productiva de los suelos, esencial para las actividades agrícolas.

La incidencia de la población en la degradación de los suelos es vista desde la perspectiva de dinámica poblacional, particularmente las tasas de crecimiento de los años 2001-2010 a nivel cantonal y si ejercen presión sobre el recurso suelo, enfocado con la relación de la pérdida de tierras agrícolas por aumento de la población. Siendo así, el área de estudio abarca 140 cantones en donde las tasas de crecimiento indican un crecimiento positivos en el 77% de los cantones del área destacando a los cantones; Pablo Sexto perteneciente a la provincia de Morona Santiago, San Lorenzo y San Miguel de los Bancos de las provincias de Esmeraldas y Pichincha respectivamente con una tasa del 5%. Esto indica que el crecimiento natural de la población en el área es positivo por lo tanto, existe un incremento de satisfacer las necesidades básicas de la población por ejemplo; alimentación, educación, salud e infraestructura. Sin embargo, para determinar esto se utilizó el coeficiente de correlación por rangos de Spearman que da como resultado 0.09 indicando que las dos variables son independientes y no existe correlación entre ellas, es decir que el aumento de las tasas de crecimiento no implica una disminución de las tierras agrícolas.

Para satisfacer las necesidades alimentarias de la población del área se cuenta con una superficie agrícola (2002) de 1'944.163 ha que se dispersan a lo largo de los Andes ecuatorianos pero estas tierras se han visto sometidas a condiciones extremas de producción a lo largo de los años, por lo cual han sufrido una pérdida notable en su productividad. Siendo así, en base a la información de sensibilidad productiva de los suelos en diez años el áreas de estudio disminuye su superficie agrícola a 1'445.230 ha perdiendo el 26% de la superficie de tierras agrícolas, pero cabe destacar que se desconoce el aumento de estas tierras y únicamente se ha tomado en cuenta la pérdida de los suelos con uso agrícola. Es por esta razón que se han tomado tres cantones; Pimampiro, Nabón y Celica como modelos para demostrar la

pérdida del recurso suelo de uso agrícola. Donde Pimampiro pierde el 57% de sus tierras productiva; Nabón disminuye sus tierras agrícolas de 31716 a 17665 ha perdiendo un total de 14052 hectáreas en los 10 años; mientras que en Celica ubicada en la Sierra Sur pierde aproximadamente 16400 ha equivalentes al 71% de la superficie de tierras agrícolas.

Al interpretar los resultados tanto de tasas de crecimiento poblacional positivas con relación a la disminución de tierras de uso agrícola podemos decir que no existe una relación directa entre estas dos variables. Es decir, que los cantones con mayor crecimiento de su población no corresponden a los cantones con mayor pérdida de tierras agrícolas, por otro lado en el polo opuesto tampoco existe relación entre los cantones con mayor extensión de tierras agrícolas y donde su población no ha tenido un incremento en su población en los últimos diez años. Por lo tanto la aceleración de los procesos erosivos no se debe únicamente al incremento de la población sino más bien a una serie de variables que actúan de manera directa o indirecta sobre los recursos, en este caso el suelo.

Los diferentes escenarios presentados tanto desde la perspectiva ambiental como social, demuestra el estado crítico de los suelos en los Andes ecuatorianos lo que conlleva a proponer estrategias encaminadas a ver el suelo como un recursos estratégico a nivel nacional. De esta manera las estrategias que se proponen están enmarcadas desde el punto de vista social y ambiental, para que de esta manera el recurso suelo se maneje de una forma sistemática. Por un lado, el control de la erosión debe ser mediante la aplicación prácticas agronómicas y mecánicas en función de las características particulares de cada suelo, además de la socialización del uso adecuado de los suelos por parte de la población en función de políticas nacionales para precautelar la seguridad alimentaria de la población ecuatoriana. Partiendo desde lo que establece el marco legal se propone la institucionalización del recurso suelo como el caso del agua, para un uso y manejo en función de su manejo sustentable, también se plantea la coordinación interinstitucional de programas relacionados al suelo desde el ámbito social, ambiental y económico. El impulso de estudios, investigaciones y actualización de la información en función de las nuevas tecnologías para la planificación, manejo y monitoreo del recurso

suelo, puesto que la calidad de la información es fundamental para que los resultados sean los más cercanos a la situación real.

Cabe mencionar que son propuestas de estrategias determinadas en base a los resultados obtenidos en todo el estudio y en función de la priorización de los problemas que se han observado en el área de estudio. Más allá de buscar un uso y manejo adecuado del recurso se trata de hablar de la responsabilidad ambiental no solo de los actores relacionados directamente con actividades agrícolas sino también de los actores institucionales, coordinadores de las políticas ambientales del país.

BIBLIOGRAFÍA

Libros

- Almorox A. López F. Rafaelli S. (2010): La degradación de los suelos por erosión hídrica: métodos de estimación. EDITUM. Universidad de Murcia.
- De Noni G. Viennot M. Trujillo G. (1986): La erosión agrícola de los suelos en el Ecuador. En: Winckell A. (1992): Los paisajes Naturales del Ecuador. Las condiciones generales del Medio Natural. (pág. 129-133). Quito.
- Hudson N. (1997): Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y la escorrentía. Boletín de suelos No. 68. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma.
- Fraume J. (2000): Diccionario Ambiental. ECOE Ediciones
- Hudson N. (1982): Conservación del suelo, Editorial Reverté. Barcelona España
- Hufty A. 1984. Introducción a la climatología. Barcelona. Editorial Ariel S.A.
- Kirkby J. (1980): El Problema En: Kirkby J. y Morgan R. (Eds): Erosión de suelos (pp. 15-33). México. Ed. Limusa.
- Meaden G. y Kapetsky J. FAO (1992): Los sistemas de información geográfica y la telepercepción en la pesca continental y la acuicultura. Documento técnico de pesca 318. Roma
- Morgan R. (1996): Erosión y Conservación de suelos. Madrid. Mundi-Prensa.
- Nuñez J. (1945): Fundamentos de la Edafología. EUMED. San José-Costa Rica }

- Núñez J. (2001): Manejo y conservación de suelos. EUMED. San José-Costa Rica
- Pérez A. Botella A. Muñoz A. Olivilla R. Carles J. Rodríguez J. (2011): Introducción a los sistemas de información geográfica y geotelemática. Editorial UOC. Barcelona.
- Sarabia J. y Pascual M. (2007): Curso básico de estadística para Economía y Administración de Empresas. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Canabria. Santander
- Segado F. (1996): Principios de teledetección. Servicio de Publicaciones Universidad. Murcia
- Suárez F. (1979): Conservación de suelos: un estudio internacional, Instituto Interamericano de ciencias agrícolas (IICA) San José Costa Rica
- Tayupanta J. y Córdova J. (1990): Algunas alternativas agronómicas y mecánicas para evitar la pérdida del suelo. Publicación Miscelánea No. 54 Estación Experimental "Santa Catalina" INIAP
- Torres E. (1981): Manual de conservación de suelos agrícolas. Editorial Diana. México
- Thompson L. y Throe F. (1988): Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverté España
- Winckell A. (1992): Los paisajes Naturales del Ecuador. Las condiciones generales del Medio Natural. Tomo IV Geografía Física, Quito.
- Zavgorodniaya S. y Tapia L. (2001): Región, regionalización y Descentralización. Análisis del funcionamiento integrado de las regiones del territorio ecuatoriano. Vicepresidencia de la República del Ecuador-GIZ, Quito.

Revistas

- De Noni G. (1986): Breve visión histórica de la erosión en el Ecuador En: Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas (CEDIG). La erosión en el Ecuador (pp 15-22). Documento de investigación. Quito.

De Noni G. y Trujillo G. (1986): La erosión actual y potencial en el Ecuador. En: Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas (CEDIG). La erosión en el Ecuador (pp 5-14). Documento de investigación. Quito.

MacInness J. y Pérez J. (2008). La tercera revolución de la modernidad. La revolución reproductiva. En: Revista Española de Investigaciones Sociológicas (Reis).Nº 122, 2008, pp. 89-118, pág. 109-114

Peña J. (2008): Sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio 3ª ed. Editorial Club Universitario. San Vicente.

Pourrut P. (1986): Papel de las precipitaciones en la degradación de los suelos: Impacto de las lluvias excepcionales del periodo 1982-1983 En: Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas (CEDIG). La erosión en el Ecuador (pp 25-34). Documento de investigación. Quito

De Noni G. Viennot M. Trujillo G. (1986): La erosión agrícola de los suelos en el Ecuador. En: Winckell A. (1992): Los paisajes Naturales del Ecuador. Las condiciones generales del Medio Natural. (pp 129-133). Quito.

Documentos Institucionales

FAO (2000): Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO 8. Roma.

FAO (1990): Conservación de suelo para los pequeños agricultores en las zonas tropicales húmedas. Boletín de suelos de la FAO. Roma

Flacso-Sede Ecuador: Ministerio del Ambiente de Ecuador: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2008): GEO Ecuador 2008 Informe sobre el estado del medio ambiente. Boletín informativo. Quito.

Instituto Geográfico Militar (2010): Atlas geográfico de la República del Ecuador.
Quito-Ecuador

Núñez J. (2001): Manejo y Conservación de suelos. San José. Universidad Estatal.

Pascuas Y. (2008): Modelamiento matemático aplicado al modelamiento espacial.
Artículo. Universidad Francisco José de Caldas. Bogotá.

Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo (2009): Plan Nacional del Buen Vivir
2009-2012. Quito-Ecuador

Winters P. Espinosa P. y Crissman C. (1998): Manejo de los Recursos en los Andes
Ecuatorianos. Revisión de la Literatura y evaluación del proyecto Manejo del
Uso Sostenible de las tierras Andinas (PROMUSTA). CARE. Quito.

Zavgorodniaya S. y Enríquez S. (2011): Informe del proyecto de investigación "Causas,
efectos y riesgos morfodinámicos asociados al cambio climático en Ecuador".
Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador

Zavgorodniaya S. y Calle F. (1993): Evaluación erosivo-sedimentológica en la Cuenca
Alta del Río Lempa. OEA. San Salvador.

En Internet

Alberich J. (2011): Población mundial y desarrollo sostenible, Universitat Rovira i
Virgili. Cátedra de Desarrollo Sostenible

En:http://www.desenvolupamentsostenible.org/index.php?option=com_content&view=article&id=7&Itemid=31&lang=es

Rev: 11.07.2012

Cerdá A. (1999): La erosión del Suelo y sus tasas en España. Revisión Instituto
Pirenaico de Ecología, Consejo Superior de Investigaciones Científicas,
Zaragoza.

En <http://www.aeet.org/ecosistemas/013/revisiones1.htm> .

Rev: 27.02.2011

De Noni G. y Trujillo G. (1986): Degradación del suelo en el Ecuador; Principales causa y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso.

Rev: 23.05.2011

En: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cc-2010/26531.pdf

Do Prado Wildner L. y da Veiga M. (1994): Erosión y pérdida de fertilidad del suelo

Rev: 04.04.2012

En: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S06.htm>

FAO (2006): Seguridad Alimentaria. Documento de trabajo sobre Informe de Políticas

Rev.: 05.04.2011

En: ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policybriefs/pb_02_es.pdf

Ibañez j. (2010): La Textura del suelo: Cuando lo Observado en el Campo no Coincide con los Resultados del Laboratorio (Régulo León Arteta)

Rev: 28.08.2012

En: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2010/12/08/137600>

Roffe T. Ligtenberg A. Rolf A. (2004): Modelo para el pronóstico de la dinámica de erosión en los suelos debido a los cambios en el uso de la tierra.

Rev: 25.02.2011

En: http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=508

Milenarium (2008): Erosión de suelos. Madrid España

Rev: 18.07.2012

En: <http://www.miliarium.com/Proyectos/EIA/EsIA/impactoedafologia.asp#EJEMPLO>

Viteri G. (2007): Reforma Agraria en el Ecuador, Editorial EUMED

Rev: 21 de marzo de 2012

En: [www. Eumed.net/libros/2007b/298](http://www.Eumed.net/libros/2007b/298)

Entrevistas y Conversaciones personales

Torres P. (2011). Técnico SIGAGRO- Ministerios de Agricultura y Ganadería, entrevista, Quito

Maldonado J. (2011). Edafólogo-CLIRSEN-MAGAP. Entrevista. Quito

Otros

Constitución de la República del Ecuador (2008)

Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Decreto Supremo No. 374.

Reglamento para la Prevención de la Contaminación Ambiental en lo relativo al Recurso Suelo, Acuerdo Ministerial N° 14629, R.O. N° 989, del 30-07-1992

Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización COOTAD (2011). Quito-Ecuador

Tesis

Gortaire I. (1993): Deterioro Ambiental y producción agropecuaria en Chuquipogio cantón Guano, provincia de Chimborazo. Ciencias de la Educación. PUCE. Quito

ANEXOS

Anexo 1. Mapa base del Área de Estudio

Anexo 2. Tabla de reclasificación de la información cartográfica correspondiente a litología

Anexo 3. Gráfico para la denominación de los suelos según la textura

Anexo 4. Mapa de recorrido de salidas de campo

Anexo 5. Tabla de puntos y observaciones levantados en salidas de campo

Anexo 6. Principales cultivos del Ecuador, serie histórica del 2000-2010

Anexo 7. Mapa de profundidad de suelos

Anexo 8. Tabla de cálculo de correlación por rangos